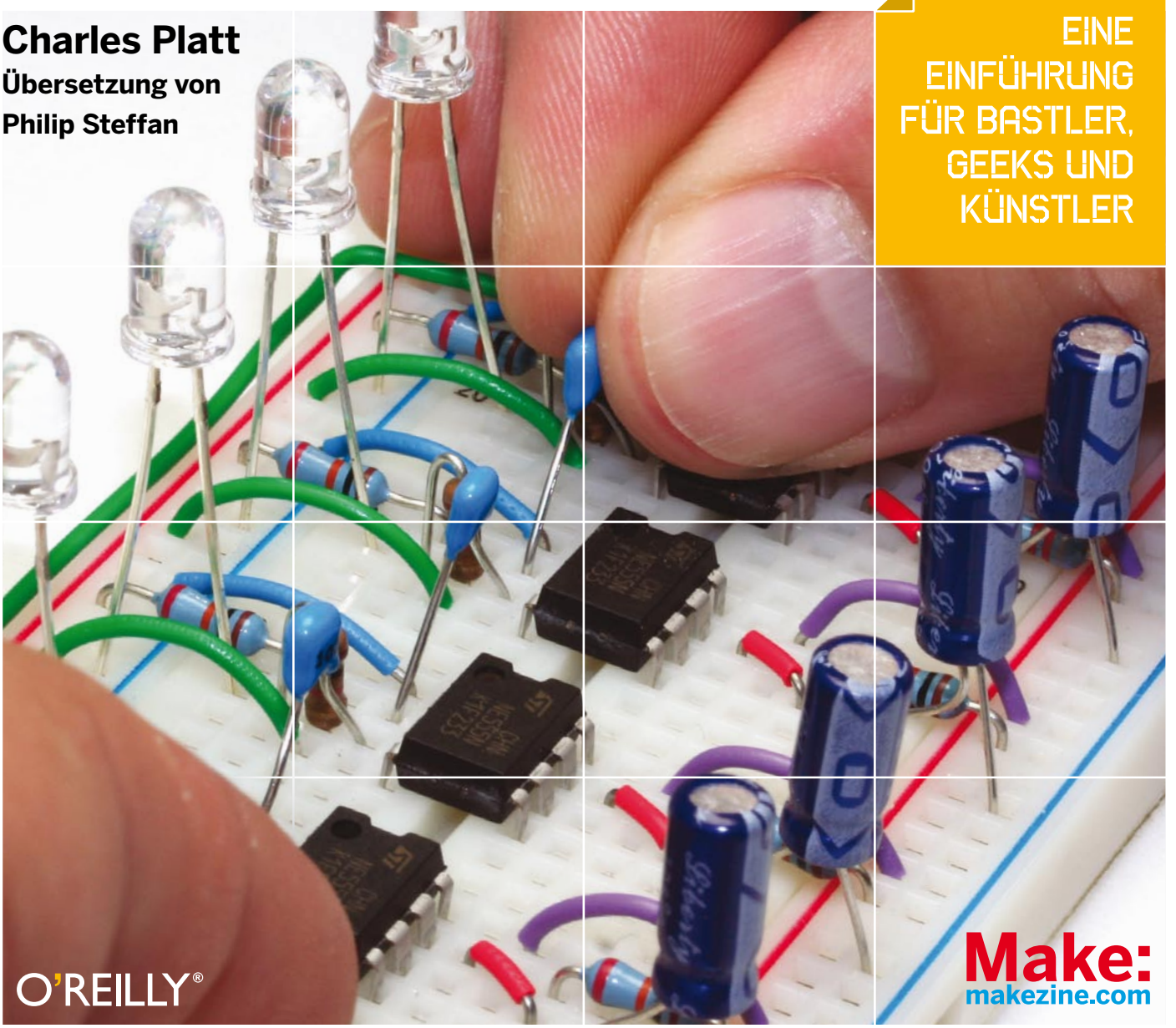
Testen, frickeln, ausprobieren – respektlos lernen!

Make: Elektronik

Lernen durch Entdecken

Charles Platt
Übersetzung von
Philip Steffan

EINE EINFÜHRUNG FÜR BASTLER, GEEKS UND KÜNSTLER



O'REILLY®

Make:
makezine.com

Make: Elektronik

Lernen durch Entdecken

Charles Platt

mit Fotos und Illustrationen des Autors

Deutsche Übersetzung
von Philip Steffan

O'REILLY®
Beijing • Cambridge • Farnham • Köln • Sebastopol • Taipei • Tokyo

Die Informationen in diesem Buch wurden mit größter Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden. Verlag, Autoren und Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für eventuell verbliebene Fehler und deren Folgen.

Alle Warennamen werden ohne Gewährleistung der freien Verwendbarkeit benutzt und sind möglicherweise eingetragene Warenzeichen. Der Verlag richtet sich im Wesentlichen nach den Schreibweisen der Hersteller. Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte vorbehalten einschließlich der Vervielfältigung, Übersetzung, Mikroverfilmung sowie Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Kommentare und Fragen können Sie gerne an uns richten:
O'Reilly Verlag
Balthasarstr. 81
50670 Köln
Tel.: 0221/9731600
Fax: 0221/9731608
E-Mail: kommentar@oreilly.de

Copyright der deutschen Ausgabe:
© 2010 by O'Reilly Verlag GmbH & Co. KG

Die Originalausgabe erschien 2009 unter dem Titel
Make: Electronics – Learning by Discovery.

Bibliografische Information Der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über *http://dnb.d-nb.de* abrufbar.

Lektorat: Volker Bombien, Köln
Übersetzer: Philip Steffan, Berlin
Korrektorat: Tanja Feder, Bonn
Satz: G&U Language & Publishing Services GmbH, Flensburg (www.GundU.com)
Produktion: Andrea Miß, Köln
Belichtung, Druck und buchbinderische Verarbeitung: Media-Print, Paderborn

ISBN 978-3-89721-601-3

Dieses Buch ist auf 100% chlorfrei gebleichtem Papier gedruckt.

For my dearest Erico

Inhaltsverzeichnis

Vorwort IX

1. Elektrizität erleben 1
Einkaufszettel: Experimente 1 bis 5 1
Experiment 1: Ein kleiner Vorgeschmack 5
Experiment 2: Wir missbrauchen eine Batterie 9
Experiment 3: Dein erster Stromkreis 13
Experiment 4: Die Spannung verändern 18
Experiment 5: Wir bauen uns eine Batterie 32

2. Grundlagen des Schaltens und mehr 39
Einkaufszettel: Experimente 6 bis 11 39
Experiment 6: Ganz einfaches Schalten 43
Experiment 7: LED mit einem Relais schalten 55
Experiment 8: Ein Relais-Oszillator 60
Experiment 9: Zeit und Kondensatoren 68
Experiment 10: Transistor-Schalter 73
Experiment 11: Ein modulares Projekt 82

3. Es wird langsam ernst 95
Einkaufszettel: Experimente 12 bis 15 95
Experiment 12: Zwei Drähte miteinander verbinden 104
Experiment 13: Brate eine LED 111
Experiment 14: Ein pulsierendes Glühen 114
Experiment 15: Zurück zur Alarmanlage 124

4. Chip Ahoi! ... 145
Einkaufszettel: Experimente 16 bis 24 ... 145
Experiment 16: Erzeugen eines Impulses ... 151
Experiment 17: Selbst erzeugte Töne ... 160
Experiment 18: Reaktions-Timer ... 168
Experiment 19: Logik lernen ... 179
Experiment 20: Eine starke Kombination ... 195
Experiment 21: Einer wird gewinnen ... 203
Experiment 22: Kippen und Prellen ... 209
Experiment 23: Elektronische Würfel ... 212
Experiment 24: Die Alarmanlage wird fertiggestellt ... 221

5. Was kommt jetzt? ... 225
Einkaufszettel: Experimente 25 bis 36 ... 226
Richte deinen Arbeitsbereich ein ... 226
Experiment 25: Magnetismus ... 231
Experiment 26: Stromerzeugung auf dem Tisch ... 234
Experiment 27: Lautsprecher-Zerstörung ... 237
Experiment 28: So reagiert eine Spule ... 241
Experiment 29: Frequenzen filtern ... 244
Experiment 30: Fuzz ... 252
Experiment 31: Ein Radio, kein Lötzinn, kein Strom ... 257
Experiment 32: Ein kleiner Roboterwagen ... 263
Experiment 33: Fortbewegung schrittweise ... 278
Experiment 34: Hardware trifft auf Software ... 287
Experiment 35: Verbindung zur Umwelt ... 300
Experiment 36: Noch einmal zum Schloss ... 305
Schlussworte ... 311

A. Händlerliste ... 313

Index ... 319

Vorwort

So macht dieses Buch am meisten Spaß

Jeder benutzt elektronische Geräte, aber die meisten von uns wissen eigentlich gar nicht, was in ihrem Inneren vor sich geht.

Vielleicht bist du auch der Meinung, dass man so etwas gar nicht wissen muss. Man kann ein Auto fahren, ohne zu wissen, wie ein Verbrennungsmotor funktioniert, und man kann vermutlich auch einen iPod bedienen, ohne irgend etwas über integrierte Schaltungen zu wissen. Dennoch gibt es drei Gründe, weshalb es sich lohnen könnte, einige Grundlagen der Elektrizität und Elektronik kennen zu lernen:

- Wenn man lernt, wie Technik funktioniert, kann man die eigene Umwelt besser beherrschen, anstatt von ihr beherrscht zu werden. Treten dann Probleme auf, kann man sie lösen, anstatt sich von ihnen frustrieren zu lassen.
- Es kann Spaß machen, etwas über Elektronik zu lernen; jedenfalls, wenn man es richtig angeht. Die Werkzeuge sind vergleichsweise billig, man braucht zum Arbeiten nur einen Tisch und nicht allzuviel Zeit (außer man nimmt sie sich).
- Fachwissen über Elektronik kann deinen Wert als Angestellter steigern oder dir sogar zu einer ganz neuen Karriere verhelfen.

Lernen durch Entdeckung

Die meisten Einsteigerbücher fangen mit Begriffsbestimmungen und Fakten an und kommen dann schrittweise soweit, dass man mit einer Anleitung eine einfache Schaltung nachbauen kann.

Dieses Buch funktioniert anders. Ich will, dass du gleich damit anfängst, Bauteile zusammenzubauen. Sobald du siehst, was dann geschieht, verstehst du, wie alles zusammenhängt. Ich glaube, dass dieser Prozess des *Lernens durch Entdecken* einen stärkeren und dauerhafteren Erfolg nach sich zieht.

Grenzwerte beachten!

Auch wenn ich davon überzeugt bin, dass alles, was ich in diesem Buch vorschlage, gefahrlos ist, setze ich voraus, dass du die Grenzwerte, die ich vorgebe, nicht überschreitest. Bitte folge immer der Anleitung und achte auf Warnungen, die mit diesem Symbol gekennzeichnet sind. Wenn du Grenzwerte überschreitest, setzt du dich unnötigen Risiken aus.

Lernen durch Entdeckung ist durchaus auch ein wissenschaftlicher Ansatz. Wenn Wissenschaftler ein ungewöhnliches Phänomen bemerken, dass durch bekannte Therorien nicht erklärt werden kann, untersuchen sie es und versuchen, es dann auf dieser Grundlage zu erklären. So kommen sie am Ende möglicherweise zu einem besseren Verständnis der Welt.

Wir werden es genauso machen, aber natürlich auf einem wesentlich weniger ambitioniertem Niveau.

Dabei werden dir Fehler unterlaufen. Das ist auch gut so. Fehler sind die besten Lehrmeister, die es gibt. Ich will, dass dir Teile durchbrennen und dass du Schaltelemente beschädigst, weil du nur dadurch die Grenzen von Bauteilen und Materialien kennenlernst. Da wir mit niedrigen Spannungen arbeiten, besteht keine Gefahr, einen elektrischen Schlag zu erleiden. Solange du die Stromstärke so begrenzt, wie ich es beschreibe, gibt es auch kein Risiko, sich die Finger zu verbrennen oder etwas zu entzünden.

Abbildung III-1. *Lernen durch Entdeckung ermöglicht es dir, sofort einfache Schaltungen aufzubauen. Du brauchst nur wenige billige Bauteile, einige Batterien und Krokodilklemmen.*

Wie schwierig wird es werden?

Ich gehe davon aus, dass du mit keinerlei Vorwissen über Elektronik anfängst. Daher sind die ersten Experimente total einfach. Man braucht hier nicht einmal Lötzinn oder Experimentierplatinen, um eine Schaltung aufzubauen. Die Drähte werden von Krokodilklemmen zusammengehalten.

Danach wirst du aber sehr bald mit Transistoren experimentieren und am Ende des zweiten Kapitels hast du schon eine funktionierende Schaltung mit sinnvollen Anwendungsmöglichkeiten.

Ich glaube nicht, dass Hobby-Elektronik schwierig zu verstehen sein muss. Wenn man Elektronik eher klassisch lernen will und seine eigenen Schaltungen entwerfen möchte, stellt dies sicher eine Herausforderung dar. In diesem Buch hingegen sind das Werkzeug und die Materialien billig, die Zielsetzungen klar definiert und an mathematischem Wissen wird nur Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division und die Fähigkeit, die Stelle des Kommas zu verschieben, benötigt.

Wie nutze ich dieses Buch

Im Wesentlichen gibt es zwei Wege, in einem Buch dieser Art Informationen zu vermitteln: In praktischen Übungen und in Referenzabschnitten. Ich werde beide Methoden verwenden. Die Übungen findest du in Abschnitten mit diesen Überschriften:

- Einkaufszettel
- Werkzeugeinsatz
- Experimente

Referenzabschnitte finden sich unter diesen Überschriften:

- Grundlagen
- Theorie
- Hintergrundwissen

Wie du diese Abschnitte benutzt, ist dir selbst überlassen. Du kannst viele Referenzabschnitte überspringen und später lesen. Wenn du aber viele Übungen auslässt, wird das Buch dir nicht viel bringen. Lernen durch Entdeckung bedeutet, dass du auf jeden Fall praktisch mit deinen eigenen Händen arbeiten musst. Das wiederum heißt, dass du einige grundlegende Bauteile kaufen und mit ihnen experimentieren musst. Wenn du alles nur gedanklich durchspielst, wirst du nur sehr wenig von diesem Buch haben.

1 Elektrizität erleben

Ich will, dass du beim ersten Experiment in Sachen Elektrizität auf den Geschmack kommst – und zwar im wahrsten Sinne des Wortes. Dieses erste Kapitel im Buch zeigt dir:

- wie man Elektrizität und Widerstand verstehen und messen kann
- wie man Bauteile behandelt und verbindet, ohne sie zu überladen, zu beschädigen oder sie zu zerstören

Auch wenn du schon Vorwissen auf dem Gebiet der Elektronik hast, solltest du diese Experimente ausprobieren, bevor du dich den weiteren Kapiteln des Buches widmest.

IN DIESEM KAPITEL

Einkaufszettel: Experimente 1 bis 5
Experiment 1: Ein kleiner Vorgeschmack
Experiment 2: Wir missbrauchen eine Batterie.
Experiment 3: Dein erster Stromkreis
Experiment 4: Die Spannung verändern
Experiment 5: Wir bauen uns eine Batterie

Einkaufszettel: Experimente 1 bis 5

Wenn du nicht mehrfach einkaufen oder online bestellen willst, sieh dir auch alle weiteren Einkaufszettel an und kaufe alles, was du brauchst, auf einmal.

Werkzeuge

Kleine Zange

Sieh dich nach diesen Werkzeugen in Baumärkten um, die im Vorwort genannt werden. Der Hersteller ist dabei egal. Wenn du die Zange einige Zeit lang benutzt hast, merkst du sicher, ob du damit gut arbeiten kannst. Insbesondere musst du selbst entscheiden, ob du eine Zange mit oder ohne Feder am Griff bevorzugst. Wenn du doch lieber ohne Rückstellfeder arbeitest, brauchst du eine zweite Zange, um die Feder aus der ersten zu entfernen.

Seitenschneider

Benutze den Seitenschneider nur für Kupferdraht, nicht für härtere Metalle (Abbildung 1-4).

Abbildung 1-1. *Eine herkömmliche Flachzange ist dein Grundwerkzeug, mit dem du Dinge greifen, biegen und aufheben kannst, wenn sie dir mal heruntergefallen sind.*

Abbildung 1-2. *Eine Zange mit längeren Backen vereinfacht die Arbeit in Umgebungen, in denen nur sehr wenig Platz zur Verfügung steht.*

Abbildung 1-3. *Spitzzangen sind bei der Schmuckherstellung beliebt, eignen sich aber auch dazu, winzige Bauteile festzuhalten.*

Abbildung 1-4. *Ein Drahtscheider oder Seitenschneider ist unverzichtbar.*

Multimeter

Strom ist unsichtbar, also brauchen wir ein spezielles Gerät, dass uns Stromdruck und Stromfluss sichtbar macht, und das geht nur mit einem Multimeter. Ein billiges Multimeter reicht für deine ersten Experimente. Wenn du ein solches Gerät im Internet kaufst, lies dir trotzdem die Bewertungen von anderen Käufern durch, da billige Multimeter nicht immer zuverlässig funktionieren. Du kannst aber online durchaus zunächst immer nach dem besten Angebot Ausschau halten. Vergiss nicht, auch bei eBay zu suchen.

Das Multimeter muss digital funktionieren – kaufe dir kein altmodisches Analoggerät, bei dem sich eine Nadel über einer Skala bewegt. In diesem Buch setze ich voraus, dass du auf eine Digitalanzeige schaust.

Ich rate dir auch davon ab, ein Multimeter mit »Autorange«-Funktion zu kaufen, auch wenn das zunächst nützlich klingt: Wenn du zum Beispiel eine 9-Volt-Batterie überprüfst, merkt das Multimeter von selbst, dass du nicht im Bereich von mehreren Hundert Volt oder wenigen Millivolt messen willst. Das Problem dabei besteht darin, dass man leichter Fehler machen kann. Was könnte beispielsweise geschehen, wenn die Batterie fast leer ist? In diesem Fall besteht die Gefahr, dass du einen Wert misst, der nur einen Bruchteil von einem Volt beträgt, du dies aber wegen der »Autorange«-Funktion gar nicht bemerkst . Der einzige Hinweis im Display, den man aber eben leicht übersieht, ist ein kleines »m« neben den deutlich größer dargestellten Zahlen im Display das für »Millivolt« steht.

Bei einem Multimeter mit manueller Einstellung wählst du den Messbereich selbst aus. Falls die zu messende Quelle außerhalb dieses Bereiches liegt, zeigt das Gerät einen Fehler an. Ich finde das besser. Außerdem

werde ich immer ungeduldig, wenn Autorange-Multimeter bei jeder Messung erst versuchen, den Messbereich herausfinden. Am Ende ist es aber eine Frage der persönlichen Vorliebe. In Abbildungen 1-5 bis 1-7 sind einige Multimeter abgebildet.

Abbildung 1-5. *Wie du am Grad der Abnutzung erkennen kannst, ist dies mein bevorzugtes Multimeter. Es hat alle benötigten Grundfunktionen und kann auch Kapazität messen (der F-Bereich steht für Farad). Es ist außerdem zum Testen von Transistoren geeignet. Der Messbereich muss manuell eingestellt werden.*

Abbildung 1-6. *Ein mittelpreisiges Multimeter*

Abbildung 1-7. *Ein Multimeter mit einem zusätzlichen Temperaturfühler*

Material

Batterien

9-Volt-Batterie. Anzahl: 1.

Mignon-Batterien (AA), 1,5 Volt. Anzahl: 6.

Bei den Batterien sollte es sich um normale Alkaline-Batterien handeln. Nimm die billigsten, weil wir vielleicht einige davon zerstören werden. Du solltest *auf keinen Fall* wiederaufladbare Batterien (Akkus) in den Experimenten 1 und 2 benutzen.

Batteriehalter und -anschlüsse

Batterieclip für 9-Volt-Batterie (Abbildung 1-8). Anzahl: 1. Jeder Batterieclip mit Drähten reicht aus.

Batteriehalter für eine einzelne Mignon-Batterie, mit Anschlussdrähten. (Abbildung 1-9). Anzahl: 1. Jeder Batteriehalter mit Drähten reicht aus.

Abbildung 1-8. *Anschlussclip für eine 9-Volt-Batterie*

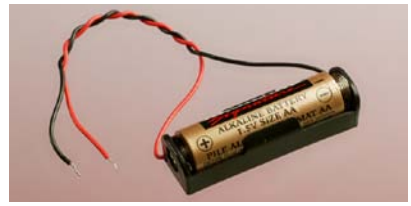


Abbildung 1-9. *Batteriehalter für eine einzelne Mignonbatterie mit Anschlussdrähten.*

Abbildung 1-10. *Batteriehalter für vier Mignonzellen in Reihe, liefert 6 Volt Spannung.*

Abbildung 1-11. *Krokodilklemmen in Vinylhüllen, die versehentliche Kurzschlüsse verhindern.*

Abbildung 1-12. *Eine 3-Ampere-Sicherung, wie sie in Autos gebraucht wird, hier größer abgebildet, als sie tatsächlich ist.*

Abbildung 1-13. *Potentiometer gibt es in verschienenen Formen und Größen, mit verschiedenen Schaftlängen für verschiedene Drehknöpfe. Für unsere Zwecke ist die Bauart egal, aber die größeren Modelle sind einfacher zu handhaben.*

Batteriehalter für vier Mignon-Batterien, mit Anschlussdrähten (Abbildung 1-10). Anzahl: 1.

Krokodilklemmen

Gummiisoliert. Anzahl: mindestens 6.

Bauteile

Womöglich weißt du nicht, was einige dieser Artikel genau sind oder wozu sie gut sind. Schau einfach die Beschreibungen durch und achte auf die abgebildeten Fotos. Sehr bald wirst du alles durch »Lernen durch Entdecken« verstehen.

Sicherungen

KFZ-Flachsicherung, 3 Ampere. Anzahl: 3.

Oder ein ähnliches Modell. Eine Flachsicherung lässt sich einfacher mit Krokodilklemmen fixieren als eine Rundsicherung.

Potentiometer

Einfache Umdrehung, 2 KΩ linear, Minimal 0,1 Watt. Anzahl: 2.

Die »Watt«-Angabe gibt an, wieviel Leistung das Bauteil aushält. Du brauchst keinen Wert über 0,5 Watt.

Widerstände

Widerstandssortiment mit mindestens 1/4 Watt mit verschiedenen Werten, sollte aber 470 Ohm, 1 Kiloohm und 2 oder 2,2 Kiloohm enthalten. Anzahl: mindestens 100.

Oder suche bei eBay nach »Widerstandssortiment«.

Leuchtdioden (LEDs)

Egal welche Größe oder Farbe (Abbildungen 1-14 und 1-15). Anzahl: 10.

Für die ersten Experimente reicht so ziemlich jede LED.

Abbildung 1-14. *Typische Leuchtdiode (LED) mit 5 mm Durchmesser.*

Abbildung 1-15. *Eine extragroße LED (1 cm Durchmesser) ist nicht unbedingt heller oder teurer. Für die meisten Experimente im Buch kannst du beliebige LEDs kaufen.*

Experiment 1: Ein kleiner Vorgeschmack

Kann man Elektrizität schmecken? Möglicherweise nicht, aber es fühlt sich an, als ob es ginge.

Du brauchst:

- 9-Volt-Batterie
- Anschlussclip für die Batteriekontakte
- Multimeter

Ablauf

Befeuchte deine Zunge und berühre mit der Spitze die Metallkontakte einer 9-Volt-Batterie. Du wirst sofort ein deutliches Prickeln spüren, das dadurch erzeugt wird, dass Elektrizität von einem Anschluss der Batterie durch die Feuchtigkeit in und auf deiner Zunge zum anderen Anschluss fließt (Abbildung 1-16). Da die Haut auf deiner Zunge sehr dünn ist (es ist ja eine Schleimhaut) und die Nerven sehr dicht unter der Oberfläche liegen, kann man so die Elektrizität sehr einfach spüren.

Strecke deine Zunge heraus und trockne die Zungenspitze gut mit einem Tuch ab. Wiederhole das Experiment, ohne dass deine Zunge wieder feucht wird. Jetzt solltest du ein schwächeres Prickeln wahrnehmen.

Was passiert hier? Wir brauchen ein Messgerät, um das herauszufinden.

Nie mehr als 9 Volt

Eine 9-Volt-Batterie wird dir nicht wehtun. Versuche dieses Experiment aber nie mit einer Batterie mit mehr Spannung oder einer größeren Batterie, die mehr Strom abgeben kann. Falls du eine Zahnspange trägst, achte darauf, dass die Metallbügel nicht die Batterie berühren.

Abbildung 1-16. *Schritt Eins beim Lernen durch Entdeckung: Der 9-Volt-Zungentest.*

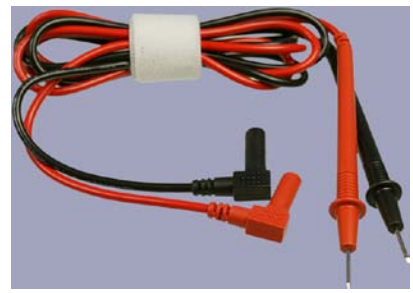


Abbildung 1-17. *Das schwarze Kabel gehört in die Common-Buchse (COM) und das rote Kabel gehört in die rote Buchse, die fast immer auf der rechten Seite des Multimeters liegt.*

Werkzeuge

Richte dein Multimeter ein

Sieh in der mitgelieferten Anleitung nach, ob du erst eine Batterie einsetzen musst oder ob schon eine Batterie vorhanden ist.

Die meisten Multimeter haben abnehmbare Prüfkabel, auch Messleitungen genannt. Die meisten Geräte haben außerdem drei Buchsen an der Vorderseite. Die Buchse ganz links ist in der Regel für die Messung hoher Stromstärken (Strom ist der Fluss von elektrischer Ladung) vorgesehen. Zunächst werden wir diese nicht brauchen.

Die Kabel werden vermutlich schwarz und rot sein. Der schwarze Stecker gehört in die Buchse, die mit »COM« oder »Common« beschriftet ist. Der rote Stecker kommt in die Buchse mit der Bezeichnung »VΩ« oder »Volt Ω«. Siehe Abbildung 1-17 bis 1-20.

An den anderen Enden der Prüfkabel befinden sich Metallspitzen, auch Prüfspitzen genannt. Mit diesen berührt man die Bauteile bei elektrischen Messungen. Die Spitzen messen Elektrizität, sie geben aber keine großen Mengen davon ab. Das bedeutet, dass man sich nicht daran verletzten kann, außer natürlich man piekst sich an den spitzen Enden.

Wenn dein Messgerät keine Autorange-Funktion hat, befindet sich an jeder Schaltstellung noch eine Zahl. Diese Zahl bedeutet »nicht über«. Wenn zum Beispiel eine Stellung auf der Volt-Skala mit 2 (»nicht über 2 Volt«) und die nächste mit 20 (»nicht über 20 Volt«) beschriftet ist und du eine 6-Volt-Batterie messen willst, musst du folglich die Einstellung auswählen.

Falls du einen Fehler machst und versuchst etwas zu messen, das nicht passt, zeigt das Multimeter eine Fehlermeldung wie »E« oder »L«. Stell dann einfach den Drehregler richtig ein und versuche es noch einmal.

Abbildung 1-18

Abbildung 1-19

Abbildung 1-20. *Um Widerstand und Spannung zu messen, steckt man das schwarze Kabel in die »COM«-Buchse und das rote Kabel in die Volt-Buchse. Fast alle Messgeräte verfügen über eine Extrabuchse für das rote Kabel für die Messung von hohen Stromstärken in Ampere, aber darum kümmern wir uns später.*

GRUNDLAGEN

Ohm

Man misst Entfernungen in Kilometern, Gewicht (korrekt: Masse) in Kilogramm, Temperatur in Grad Celsius – und den elektrischen Widerstand in Ohm. Das Ohm ist eine internationale Einheit.

Das griechische Schriftzeichen Omega (Ω) ist das Einheitenzeichen für Werte in Ohm, siehe die Abbildungen 1-21 und 1-22. Der Buchstabe K (oder kΩ) bedeutet Kiloohm (entspricht 1.000 Ohm). Der Buchstabe M (oder MΩ) bedeutet Megaohm (entspricht 1.000.000 Ohm).

Wert in Ohm	Gängige Schreibweise	Abkürzung
1.000 Ohm	1 Kiloohm	1kΩ oder 1K
10.000 Ohm	10 Kiloohm	10kΩ oder 10K
100.000 Ohm	100 Kiloohm	100kΩ oder 100K
1.000.000 Ohm	1 Megaohm	1MΩ oder 1M
10.000.000 Ohm	10 Megaohm	10MΩ oder 10M

Ein Material, das eine sehr hohen elektrischen Widerstand hat, nennt man *Nichtleiter* oder *Isolator*. Die meisten Kunststoffe, auch die farbigen Ummantelungen von Drähten, sind Nichtleiter.

Ein Material mit sehr niedrigem Widerstand bezeichnet man als Leiter. Metalle, z.B. Kupfer, Aluminium, Silber und Gold, sind exzellente Leiter.

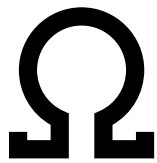


Abbildung 1-21. *Der Buchstabe Omega wird weltweit benutzt, um den Widerstand in Ohm anzugeben.*

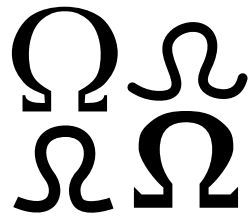


Abbildung 1-22. *Er wird in unterschiedlichen Varianten geschrieben oder gedruckt.*

Ablauf

Wir benutzen das Multimeter nun, um den elektrischen Widerstand deiner Zunge zu messen. Stell zunächst das Gerät auf Widerstandsmessung ein. Wenn das Multimeter eine Autorange-Funktion hat, sieh nach, ob es ein K für Kiloohm oder ein M für Megaohm anzeigt. Wenn du den Messbereich manuell einstellen musst, beginne nicht mit einem Wert unter 100.000 Ohm (100K). Siehe die Abbildungen 1-23 bis 1-25.

Berühre mit beiden Messspitzen deine Zunge. Die Messspitzen sollten einen Abstand von zwei bis drei Zentimetern aufweisen. Notier dir das Messergebnis, dass bei ungefähr 50K liegen sollte. Lege die Prüfspitzen beiseite, strecke die Zunge heraus und trockne sie sorgfältig mit einem Tuch ab. Wiederhole den Versuch, ohne dass deine Zunge wieder feucht wird. Der gemessene Wert sollte höher sein. Drücke zum Abschluss die Spitzen an die Haut auf deiner Hand oder deinem Arm: Dabei bekommst du vermutlich gar keinen Wert angezeigt oder nur, wenn du deine Haut anfeuchtest.

Wenn deine Haut feucht ist (z.B. weil du schwitzt), nimmt ihr elektischer Widerstand ab. Dieses Prinzip wird bei Lügendetektoren angewandt, da jemand, der bewusst lügt, unter Belastung zum Schwitzen neigt.

Eine 9-Volt-Batterie enthält Chemikalien, die Elektronen (elektrische Teilchen) freisetzen, die aufgrund einer chemischen Reaktion in der Batterie vom einen Anschluss zum anderen fließen wollen. Du kannst dir die Zellen in der Batterie wie zwei Wassertanks vorstellen – einer davon ist voll und der andere leer. Wenn diese Tanks mit einem Rohr verbunden werden, fließt das Wasser solange, bis beide gleich voll sind. Abbildung 1-26 zeigt dir, wie das gemeint ist. In gleicher Weise fließen Elektronen zwischen den beiden Enden einer Batterie, wenn man eine elektrische Verbindung zwischen ihnen herstellt, auch wenn diese Verbindung die Feuchtigkeit auf deiner Zunge ist.

Elektronen fließen in einigen Stoffen (wie einer feuchten Zunge) leichter als in anderen (wie einer trockenen Zunge).

Abbildung 1-23

Abbildung 1-24

Abbildung 1-25. *Um Ohm zu messen, stelle die Drehscheibe auf das Omega-Zeichen. Auf einem Multimeter mit Autorange-Funktion kannst du die »Range«-Taste wiederholt drücken, um verschiedene Widerstandsbereiche anzuzeigen, oder du hältst einfach die Messspitzen an einen Widerstand und wartest darauf, dass das Gerät automatisch einen Bereich wählt. Bei einem manuellen Multimeter musst du erst den Bereich mit dem Drehregler wählen. (Um den Hautwiderstand zu messen, solltest du es auf 100 kΩ oder höher stellen). Wenn du keinen sinnvollen Wert erhältst, versuche einen anderen Messbereich.*

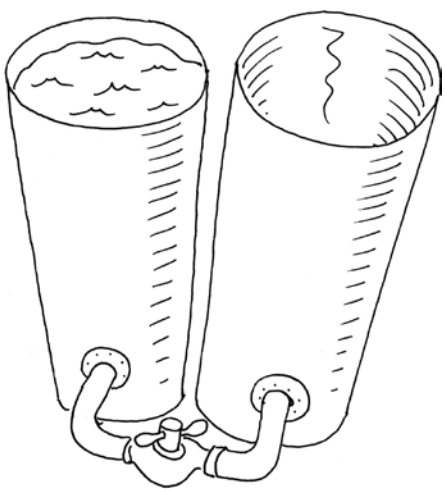


Abbildung 1-26. *Stelle dir die Zellen in einer Batterie wie zwei Zylinder vor: Einer ist voll mit Wasser, der andere leer. Wenn man eine Verbindung zwischen den Zylindern herstellt, fließt das Wasser solange, bis der Wasserpegel auf beiden Seiten gleich hoch ist. Je weniger Widerstand die Verbindung besitzt, desto schneller fließt das Wasser.*

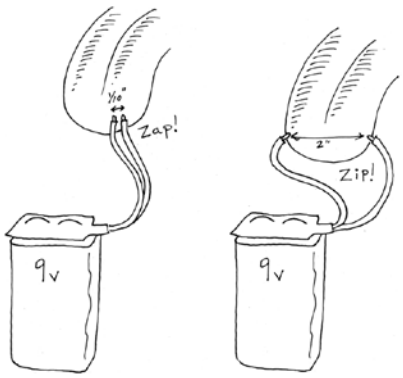


Abbildung 1-28. *Wir können den Zungentest abwandeln, um zu zeigen, dass eine kürzere Distanz mit niedrigerem Widerstand einen größeren Stromfluss ermöglicht und damit stärker prickelt.*

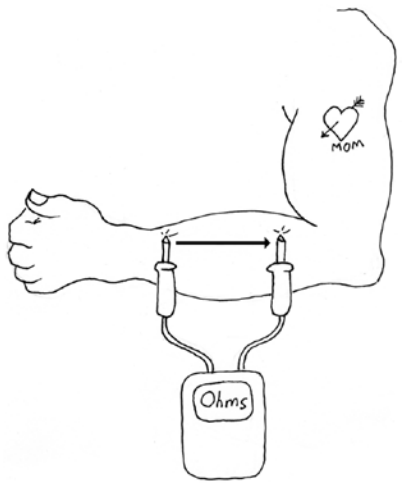


Abbildung 1-29. *Feuchte deine Haut an, bevor du versuchst, ihren Widerstand zu messen. Der Wert sollte höher liegen, je weiter die Messspitzen von einander entfernt sind. Der Widerstand ist proportional zum Abstand.*

HINTERGRUNDWISSEN

Der Mann, der den Widerstand entdeckte

Georg Simon Ohm, Abbildung 1-27, wurde im Jahre 1787 in Erlangen, Bayern, geboren und arbeitete den größten Teil seines Lebens ohne nennenswerten öffentlichen Bekanntheitsgrad. Er erforschte die Eigenschaften von Elektrizität mit Metalldrähten, die er dafür selbst hergestellt hatte. (Anfang des 19. Jahrhunderts konnte man nicht einfach zum Elektrogroßhandel fahren und eine Rolle Draht kaufen.)

Abbildung 1-27. *Georg Simon Ohm nach der Auszeichnung für seine wegweisende Forschung, die er zu weiten Teilen alleine, ohne wissenschaftliche Kontakte leistete.*

Trotz seiner begrenzten Ressourcen und ungenügenden mathematischen Fähigkeiten konnte Ohm im Jahre 1827 zeigen, dass sich der elektrische Widerstand in einem Leiter wie Kupfer proportional zum Querschnitt veränderte, und dass der darin fließende Strom proportional zur angelegten Spannung ist, wenn die Temperatur konstant bleibt. Erst 14 Jahre später erkannte die Royal Society in London die Bedeutung seiner Erkenntnis und verlieh ihm die Copley-Medaille. Heute kennen wir seine Entdeckung als das Ohmsche Gesetz.

Weitere Untersuchungen

Stecke den Anschlussclip (siehe Abbildung 1-8) auf die 9-Volt-Batterie. Halte die beiden Kabel so, dass die offenen Enden nur einige Millimeter von einander entfernt sind und berühre damit deine Zunge. Dann halte die Kabelenden einige Zentimeter voneinander entfernt und berühre noch einmal deine Zunge. (Siehe Abbildung 1-28). Spürst du einen Unterschied?

Benutze dein Multimeter, um den elektrischen Widerstand deiner Zunge zu messen. Verändere dieses Mal den Abstand zwischen den zwei Spitzen. Wenn Strom eine kürzere Strecke fließt, stellt sich ihm insgesamt ein geringerer Widerstand entgegen. Das führt dazu, dass die Stromstärke (der Fluss der Ladungen pro Sekunde) ansteigt. Ein ähnliches Experiment kannst du auch an deinem Arm ausprobieren, wie Abbildung 1-29 zeigt.

Benutze dein Multimeter, um den elektrischen Widerstand von Wasser zu messen. Löse dann etwas Salz im Wasser auf und untersuche es noch einmal. Versuche auch, den Widerstand von destilliertem Wasser (in einem sauberen Glas) zu messen.

Die Welt um uns herum ist reich an Stoffen, die Strom leiten und dabei unterschiedliche Widerstandswerte haben.

Aufräumen und Weiterverwendung

Deine Batterie sollte bei diesem Experiment nicht beschädigt worden sein oder deutlich an Ladung verloren haben. Du kannst sie weiterhin benutzen.

Vergiss nicht, dein Multimeter auszuschalten, bevor du es wegräumst.

Experiment 2: Wir missbrauchen eine Batterie

Um ein besseres Gefühl für elektrischen Strom zu bekommen, wirst du jetzt das machen, wovor in den meisten Büchern gewarnt wird: Du wirst eine Batterie kurzschließen. Ein Kurzschluss ist eine direkte Verbindung zwischen beiden Enden einer Stromquelle.

Kurzschlüsse

Kurzschlüsse können gefährlich sein. Schließe niemals eine Steckdose bei dir zuhause kurz: Es wird einen lauten Knall und einen hellen Blitz geben. Der Draht oder das Werkzeug in deiner Hand werden möglicherweise zum Teil geschmolzen werden. Herumfliegende Teile von geschmolzenem Metall können dich verbrennen oder sogar erblinden lassen.

Wenn du eine Autobatterie kurzschließt, ist die Stromstärke so hoch, dass die Batterie explodieren kann und du die Säure abbekommst (Abbildung 1-30).

Lithiumbatterien sind ebenfalls gefährlich. Schließe niemals eine Lithiumbatterie kurz: Sie kann Feuer fangen und dir Verbrennungen zufügen (Abbildung 1-31).

Benutze für dieses Experiment nur eine Alkaline-Batterie und nur eine einzige Mignonzelle. (Abbildung 1-32). Du solltest auch eine Schutzbrille tragen, falls deine Batterie zufälligerweise defekt ist.

Dafür brauchst du:

- 1,5-Volt-Mignonbatterie (AA)
- Batteriehalter für eine Batterie
- Sicherung mit 3 Ampere
- Schutzbrille (eine normale Brille oder Sonnenbrille reicht auch)

Ablauf

Nimm eine Alkaline-Batterie. Benutze auf keinen Fall eine aufladbare Batterie (Akku).

Stecke die Batterie in einen Batteriehalter, der für eine einzelne Batterie geeignet ist und der zwei dünne, isolierte Drähte aufweist, wie in Abbildung 1-32 zu sehen ist. Benutze keinen anderen Batteriehalter.

Abbildung 1-30. *Jeder, dem schon mal ein Schraubenschlüssel auf die ungeschützten Pole einer Autobatterie gefallen ist, kann dir sagen, dass ein Kurzschluss auch bei »nur« 12 Volt dramatisch sein kann, wenn die Batterie stark genug ist.*

Abbildung 1-31. *Der niedrige Innenwiderstand von Lithiumbatterien (die oft in Laptops verwendet werden) ermöglicht, dass eine hohe Stromstärke fließt. Dies kann gefährlich werden. Spiele daher nie mit Lithiumbatterien herum!*

Abbildung 1-32. *Das Kurzschließen einer Alkaline-Batterie ist ungefährlich, wenn du dich genau an die Anleitung hältst. Auch dann wird die Batterie aber so heiß, dass man sie nicht mehr anfassen kann. Versuche das nie mit einem Akku.*

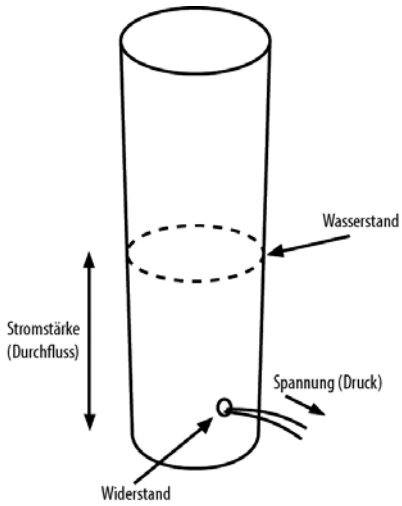


Abbildung 1-33. *Stell dir die Spannung als den Druck und die Stromstärke als Fluss vor.*

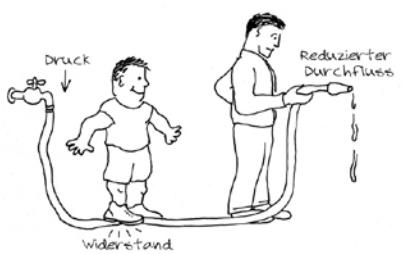


Abbildung 1-34. *Ein größerer Widerstand ergibt einen reduzierten Stromfluss, aber wenn du den Druck erhöhst, kann er den Widerstand überwinden und den Fluss vergrößern.*

Verbinde mit einer Krokodilklemme die blanken Enden der Kabel, wie in Abbildung 1-32 gezeigt. Es wird keine Funken geben, da wir nur 1,5 Volt benutzen. Warte eine Minute ab, dann wirst du bemerken, dass die Drähte heiß werden. Warte noch eine Minute, dann wird auch die Batterie heiß sein.

Die Hitze wird durch den Strom erzeugt, der durch die Kabel und das Elektrolyt (die leitfähige Flüssigkeit) in der Batterie fließt. Wenn du schon einmal mit einer Handpumpe Luft in einen Fahrradschlauch gepumpt hast, weißt du, dass die Pumpe warm wird. Strom verhält sich sehr ähnlich. Man kann sich dies so vorstellen, dass Strom aus kleinen Teilen (Elektronen) besteht, die den Draht erhitzen, während sie hindurchgedrückt werden. Das ist keine perfekte Analogie, aber für unsere Zwecke ausreichend.

Im Inneren der Batterie erzeugen chemische Reaktionen den elektrischen Druck. Der korrekte Name für diesen Druck ist Spannung, die in Volt gemessen wird, benannt nach Alessandro Volta, einem Pionier der Elektrizität.

Kommen wir noch einmal auf die Analogie vom Wasser zurück: Die Höhe der Wassersäule in einem Tank steht in einem Verhältnis zum Wasserdruck und lässt sich mit der elektrischen Spannung vergleichen. Abbildung 1-33 hilft dabei, sich das vorzustellen.

HINTERGRUNDWISSEN

Warum wurde deine Zunge nicht heiß?

Als du die 9-Volt-Batterie an deine Zunge gehalten hast, konntest du ein Prickeln spüren, aber keine spürbare Hitze. Als du eine Batterie kurzgeschlossen hast, wurde dabei eine deutlich wahrnehmbare Hitze erzeugt, obwohl du sogar mit geringerer Spannung gearbeitet hast. Wie lässt sich das erklären?

Der elektrische Widerstand deiner Zunge ist sehr hoch, was den Fluss der Elektronen reduziert. Der Widerstand eines Drahtes ist sehr niedrig. Wenn also nur ein Draht beide Pole einer Batterie verbindet, fließt ein Strom von höherer Stromstärke hindurch und erzeugt dabei mehr Hitze. Wenn alle anderen Faktoren gleich bleiben, gilt Folgendes:

- Ein kleinerer Widerstand ermöglicht, dass ein größerer Strom fließt. (Abbildung 1-34).
- Die durch den Strom erzeugte Hitze ist proportional zur Menge des fließenden Stroms (die Stromstärke).

Hier sind noch einige weitere Grundbegriffe:

- Der Stromfluss pro Sekunde wird in Ampere gemessen.
- Der elektrische Druck, der diesen Fluss verursacht, wird in Volt gemessen.
- Der Widerstand gegen diesen Fluss wird in Ohm gemessen.
- Ein größerer Widerstand verringert die Stromstärke.
- Eine größere Spannung überwindet den Widerstand und erhöht die Stromstärke.

Doch auch die Voltzahl ist nur ein Teilaspekt. Wenn Elektronen durch einen Draht fließen, nennt man diesen Fluss Stromstärke. Die Einheit hierzu ist Ampere, benannt nach einem weiteren Elektrizitätsforscher, André-Marie Ampère. Diese Stromstärke erzeugt die Hitze.

Falls du dich fragst, wie viel Strom genau zwischen den Polen einer Batterie fließt, wenn diese kurzgeschlossen wird, gibt es darauf keine einfache Antwort. Wenn du dein Multimeter benutzt, um nachzumessen, könnte die Sicherung im Messgerät durchbrennen. Du könntest aber deine eigene 3-Ampere-Sicherung benutzen, die wir für dieses Experiment opfern können, weil sie nicht sehr teuer war.

Sieh dir die Sicherung erst einmal ganz genau an. Benutze eine Lupe, falls vorhanden. Im durchsichtigen Fenster in der Mitte solltest du ein ein kleines S-förmiges Teil sehen. Dieses S ist ein dünnes Metallteil, das leicht schmilzt.

Nimm die kurzgeschlossene Batterie aus dem Halter. Sie kann nicht mehr verwendet werden und du solltest sie daher zum Recycling abgeben. Setze eine unbenutzte Batterie in den Halter ein und verbinde die Sicherung so, wie in Abbildung 1-35 gezeigt. Sieh sie dir dann noch einmal an. Du müsstest eine Unterbrechung in der Mitte der S-Form sehen, wo das Metall sofort geschmolzen ist. Abbildung 1-36 zeigt die Sicherung, bevor sie angeschlossen wurde und in Abbildung 1-37 siehst du eine durchgebrannte Sicherung. So funktioniert eine Sicherung: Sie schmilzt, um den restlichen Stromkreis zu schützen. Die winzige Unterbrechung in der Sicherung verhindert, dass der Strom fließen kann.

Abbildung 1-35. *Sobald du beide Drähte anschließt, schmilzt das kleine S-förmige Teil fast sofort.*

Abbildung 1-36. *Eine 3-Ampere-Sicherung, bevor der Sicherungsdraht durch eine einzelne 1,5-Volt-Batterie geschmolzen wurde.*

Abbildung 1-37. *Dieselbe Sicherung, nachdem sie durch den elektrische Strom geschmolzen ist.*

GRUNDLAGEN

Spannung

Der elektrische Druck wird in Volt gemessen. Das Volt ist eine internationale Einheit. Ein Millivolt ist 1/1000 eines Volts.

Spannung	Schreibweise	Abkürzung
0,001 Volt	1 Millivolt	1 mV
0,01 Volt	10 Millivolt	10 mV
0,1 Volt	100 Millivolt	100 mV
1 Volt	1000 Millivolt	1 V

Stromstärke

Den elektrischen Fluss messen wir in Ampere. Das Ampere ist eine internationale Einheit, in englischen Texten oft auch nur »amp« genannt. Ein Milliampere ist ein 1/1000 eines Amperes.

Stromstärke	Schreibweise	Abkürzung
0,001 Ampere	1 Milliampere	1 mA
0,01 Ampere	10 Milliampere	10 mA
0,1 Ampere	100 Milliampere	100 mA
1 Ampere	1000 Milliampere	1 A

HINTERGRUNDWISSEN

Der Erfinder der Batterie

Alessandro Volta (Abbildung 1-38) wurde im Jahre 1745 in Italien geboren, lange bevor die Naturwissenschaften in Fachgebiete aufgeteilt wurden. Nachdem er Chemie studiert (und 1776 Methan entdeckt) hatte, wurde er Professor für Physik und begann, sich für die sogenannte galvanische Reaktion zu interessieren. Ein Beispiel hierfür ist das Zucken eines Froschschenkels, wenn er einem Impuls von statischer Elektrizität ausgesetzt wird.

Mit einem Weinglas voller Salzwasser zeigte Volta, dass die chemische Reaktion zwischen zwei Elektroden, davon eine aus Kupfer, die andere aus Zink, einen gleichmäßigen elektrischen Strom erzeugt. Im Jahre 1800 verbesserte er seine Vorrichtung, indem er Kupfer- und Zinkplatten stapelte und dazwischen in Salzwasser getränkte Pappstücke steckte. Diese »voltasche Säule« war die erste Batterie.

Abbildung 1-38. *Alessandro Volta entdeckte, dass chemische Reaktionen Elektrizität erzeugen können.*

GRUNDLAGEN

Gleichstrom und Wechselstrom

Der Strom, der z.B. von einer Batterie erzeugt wird, wird als *Gleichstrom* bezeichnet (engl. direct current, DC). Wie beim Wasser aus dem Wasserhahn ist es ein durchgehend fließender Strom in gleichbleibender Richtung.

Der Strom aus einer Steckdose bei dir zuhause unterscheidet sich diesbezüglich. Die so genannte Phase wechselt 50 mal in der Sekunde von positiv zu negativ. (In den USA und einigen anderen Ländern auch 60 mal in der Sekunde.) Dies wird als *Wechselstrom* bezeichnet (engl. alternating current, AC) und ähnelt eher dem pulsierenden Wasserfluss eines Hochdruckreinigers.

Für einige Zwecke ist Wechselstrom unentbehrlich, z.B. um die Hochspannung über lange Strecken zu führen. Wechselstrom ist auch für Elektromotoren und viele Haushaltsgeräte sinnvoll. Die Bestandteile einer in (West-)Europa üblichen Steckdose sind in Abbildung 1-39 zu sehen. Weltweit sind verschiedene Arten von Steckern und Steckdosen in Gebrauch.

In diesem Buch gehe ich meistens von Gleichstrom aus, und zwar aus zwei Gründen: Erstens werden die meisten einfachen elektronischen Schaltungen mit Gleichstrom betrieben. Zweitens ist das Verhalten von Gleichstrom viel einfacher zu verstehen.

Ich werde nicht immer wieder darauf hinweisen, dass wir mit Gleichstrom arbeiten. Du kannst also davon ausgehen, dass immer Gleichstrom gemeint ist, außer es wird explizit auf etwas anderes hingewiesen.

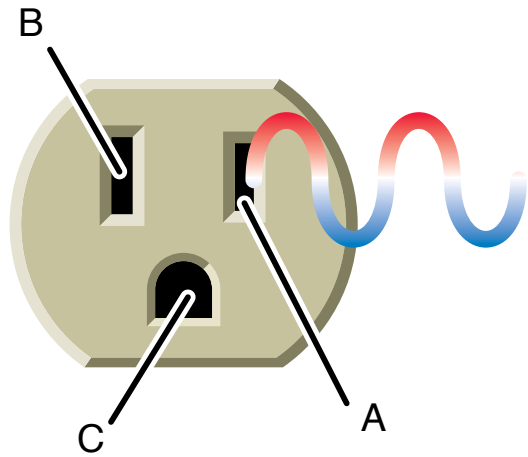


Abbildung 1-39. *In den meisten europäischen Ländern sehen die Steckdosen so aus. Weltweit werden verschiedene Arten von Steckdosen benutzt, aber das Prinzip ist überall dasselbe. Eine der beiden Buchsen (A) führt die »Phase« und liefert einen Strom, der zwischen positiv und negativ wechselt, relativ gesehen zur anderen Buchse (B), die als »neutral« bezeichnet wird. Wenn ein angeschlossenes Gerät einen Defekt hat, z.B. einen losen Anschluss im Inneren, sollte die Spannung über die Erdung (C) abgeleitet werden, so dass der Benutzer immer geschützt ist. In Deutschland werden Steckdosen verwendet, wo die Erdung durch einen Schutzleiter erfolgt.*

Aufräumen und Weiterverwendung

Die erste Mignon-Batterie, die du kurzgeschlossen hast, wurde vermutlich irreparabel beschädigt. Du solltest sie entsorgen. Batterien gehören nicht in den Hausmüll, weil sie Schwermetalle enthalten, die nicht in die Umwelt gelangen sollten. Du kannst verbrauchte Batterien bei vielen öffentlichen Sammelstellen abgeben, z.B. in vielen Supermärkten.

Die durchgebrannte Sicherung ist nicht mehr verwendbar und kann weggeworfen werden.

Die zweite Batterie, die durch die Sicherung geschützt wurde, müsste in Ordnung sein. Der Batteriehalter wird ebenfalls später noch benutzt.

Experiment 3: Dein erster Stromkreis

Jetzt geht es darum, etwas mit Strom zu tun, dass immerhin ein wenig brauchbar ist. Dafür wirst du jetzt Bauteile einsetzten, die man Widerstände nennt, außerdem eine Lumineszenz-Diode, auch als Leuchtdiode oder LED bezeichnet.

Du brauchst dafür:

- 1,5-Volt-Mignonbatterien (»AA«). Anzahl: 4
- Vierer-Batteriehalter. Anzahl: 1
- Widerstände: 470 Ω, 1 kΩ und entweder 2 kΩ oder 2, 2 kΩ (der Wert 2,2 kΩ ist viel verbreiteter als 2 kΩ, aber für dieses Experiment ist es egal). Anzahl: Je 1
- Eine LED, egal was für eine. Anzahl: 1
- Krokodilklemmen. Anzahl: 3

Aufbau

Jetzt lernen wir ein kleines, bescheidenes Bauteil kennen, das aber das grundlegendste ist, was wir in elektronischen Schaltkreisen verwenden werden: den Widerstand. Wie der Name schon sagt, widersteht er dem Fluss der Elektrizität. Erwartungsgemäß wird der betreffende Wert in Ohm angegeben.

Wenn du ein billiges Sortiment von Widerständen gekauft hast, stellst du vielleicht fest, dass die Werte nirgendwo angegeben sind. Das ist nicht schlimm, es ist einfach herauszufinden. Abgesehen davon: Sogar wenn sie sauber beschriftet sind, möchte ich, dass du die Werte selbst überprüfst. Das geht auf zwei Arten:

- Benutze dein Multimeter. Das ist auch eine sehr gute Übung, um zu lernen, wie man die Ziffern im Display richtig interpretiert
- Lerne die Farbcodes, die auf fast allen Widerständen aufgedruckt sind. Siehe dazu den folgenden Abschnitt, »Grundlagen: Widerstände dekodieren«

Es ist eine gute Idee, die Widerstände entsprechend in beschriftete Fächer in einer kleinen Plastikbox einzusortieren, nachdem du ihre Werte überprüft hast.

HINTERGRUNDWISSEN

Der Vater des Elektromagnetismus

André-Marie Ampère (Abbildung 1-40), 1775 in Frankreich geboren, war ein mathematisches Wunderkind und brachte es bis zum Lehrer der Naturwissenschaften, obwohl er sich in der Bibliothek seines Vaters fast alles selbst beigebracht hatte. Sein bekanntestes Werk war im Jahre 1820 die Herleitung einer Theorie des Elektromagnetismus, die beschreibt, wie elektrischer Strom ein Magnetfeld erzeugt. Ampère baute außerdem das erste Messinstrument für den elektrischen Fluss (heutzutage als *Galvanometer* bezeichnet) und entdeckte das Element Fluor.

Abbildung 1-40. *André-Marie Ampère entdeckte, dass ein elektrischer Strom, der durch einen Draht fließt, um diesen ein magnetisches Feld erzeugt. Er nutzte dieses Prinzip, um die ersten verlässlichen Messungen einer Größe durchzuführen, die später als Stromstärke bekannt wurde.*

GRUNDLAGEN

Widerstände dekodieren

Bei manchen Widerständen ist der Wert direkt aufgedruckt. Die mikroskopisch kleine Schrift kann man meistens nur mit einer Lupe lesen. Auf den meisten Widerständen ist jedoch ein Farbcode in Form von Streifen aufgedruckt. Bei dem Code kannst du die Grundfarbe des Widerstands ignorieren. Suche zunächst den silbernen oder goldenen Streifen. Dann dreh den Widerstand so, dass dieser Streifen rechts ist. Silber bedeutet, dass der Wert des Widerstands eine Genauigkeit von 10% hat; Gold steht für 5%. Wenn du weder einen silbernen noch einen goldenen Streifen erkennst, halte den Widerstand so, dass sich die eng beieinander liegenden Streifen auf der linken Seite befinden. Auf jeden Fall solltest du dann am linken Ende drei farbige Streifen sehen. Einige Widerstände haben noch mehr Streifen, aber dazu kommen wir erst später. Siehe die Abbildungen 1-41 und 1-42.

Abbildung 1-41. *Bei einigen modernen Widerständen sind die Werte auch direkt aufgedruckt. Man kann sie zum Teil nur mit einer Lupe lesen. Dieser 15-kΩ-Widerstand ist nur einen Zentimeter lang.*

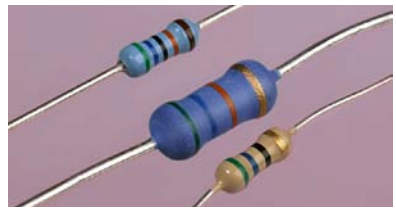


Abbildung 1-42. *Von oben nach unten haben diese Widerstände die Werte 56.000 Ohm (56 kΩ), 5.600 Ohm (5,6 kΩ) und 560 Ohm. Die Größe weist darauf hin, wieviel Leistung der Widerstand aushalten kann, sie hat nichts mit dem Widerstandswert zu tun. Die kleineren Bauteile sind für 1/4 Watt ausgelegt, der große Widerstand in der Mitte für 1 Watt.*

Von links gelesen repräsentieren der erste und der zweite Streifen die Ziffern in dieser Tabelle.

Schwarz	0
Braun	1
Rot	2
Orange	3
Gelb	4
Grün	5
Blau	6
Violett	7
Grau	8
Weiß	9

Der dritte Streifen wird anders gelesen: Er zeigt an, wie viele Nullen hinzugefügt werden müssen.

Schwarz	-	Keine Nullen
Braun	0	1 Null
Rot	00	2 Nullen
Orange	000	3 Nullen
Gelb	0000	4 Nullen
Grün	00000	5 Nullen
Blau	000000	6 Nullen
Violett	0000000	7 Nullen
Grau	00000000	8 Nullen
Weiß	000000000	9 Nullen

GRUNDLAGEN

Widerstände dekodieren (Fortsetzung)

Beachte, dass die Farbcodierung einheitlich ist. Grün bedeutet z.B. entweder einen Wert von 5 (bei den ersten zwei Streifen) oder 5 Nullen (beim dritten Streifen). Außerdem ist die Abfolge der Farben dieselbe wie bei einem Regenbogen.

Daher hat ein Widerstand mit den Farben braun-rot-grün einen Wert von 1-2 und fünf Nullen, was 1.200.000 Ohm, also 1,2 MΩ entspricht. Ein Widerstand mit den Farben orange-orange-orange hat einen Wert von 3-3 und drei Nullen, was 33.000 Ohm, also 33 kΩ ergibt. Ein Widerstand mit den Farben braun-schwarz-rot hat einen Wert von 1-0 und zwei weiteren Nullen, das ergibt 1 kΩ. Abbildung 1-43 zeigt einige weitere Beispiele.

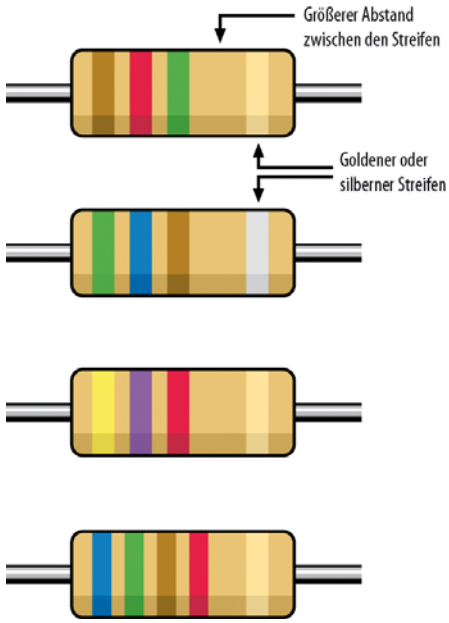


Abbildung 1-43. *Um den Widerstand zu lesen, drehe ihn zuerst so, dass der silberne oder goldene Streifen auf der rechten Seite liegt, oder so dass die andern Streifen alle links liegen. Von oben nach unten: Der erste Widerstand hat einen Wert von 1-2 und fünf Nullen, also 1.200.000, d.h. 1,2 MΩ. Der zweite ist 5-6 und eine Null, also 560 Ω. Der dritte ist 4-7 und zwei Nullen, also 4.700, d.h. 4,7 kΩ. Der letzte ist 6-5-1 und zwei Nullen, also 65.100, d.h. 65,1 kΩ.*

Falls dir ein Widerstand mit vier anstelle von drei Streifen begegnet, stehen die ersten drei Streifen für Ziffern und der vierte Streifen für die Anzahl der Nullen. Mit dem dritten Zahlstreifen kann man einen Widerstand mit kleinerer Toleranz genauer angeben.

Ist das verwirrend? Auf jeden Fall. Daher ist es einfacher, die Werte mit deinem Multimeter nachzumessen. Beachte nur, dass deine Messung leicht von dem aufgedruckten Wert abweichen kann. Das kann daran liegen, dass dein Multimeter nicht ganz genau misst oder der Widerstand nicht genau den angegebenen Wert hat, oder an beidem. Solange man aber noch innerhalb der angegebenen 5% Toleranz liegt, ist es für unsere Zwecke egal.

Eine LED leuchten lassen

Sieh dir jetzt eine deiner LEDs an. Eine altmodische Glühbirne verschwendet sehr viel Energie, die in Hitze umgewandelt wird. LEDs sind da viel schlauer: Sie wandeln fast alle Energie in Licht um und sind fast unendlich lange haltbar – solange man sie gut behandelt.

Eine LED ist etwas wählerisch, was die zugeführte Menge an Energie angeht, und im Bezug darauf, wie diese Energie ankommt. Folge immer den folgenden Regeln:

- Das *längere* Beinchen der LED muss eine *positivere* Spannung erhalten als das kürzere Beinchen
- Die Spannung zwischen dem langen und den kurzen Beinchen darf nicht über dem vom Hersteller angegebenen Limit liegen
- Die Stromstärke, die durch die LED fließt, darf nicht über dem vom Hersteller angegebenen Limit liegen

Aber was passiert, wenn man diese Regeln verletzt? Das finden wir jetzt mal heraus!

Für diesen Zweck solltest du ganz volle Batterien benutzten. Dies kannst du überprüfen, indem du dein Multimeter für die Messung von Gleichspannung einstellst und mit den Messspitzen die Enden der Batterie berührst. Dabei sollte jede Batterie eine Spannung von mindestens 1,5 Volt erzeugen. Wenn der Wert leicht darüber liegt, ist das auch noch völlig in Ordnung. Eine neue Batterie hat immer etwas mehr als die angegebene Spannung und liefert dann im Gebrauch nach und nach immer weniger. Batterien verlieren auch einen Teil ihrer Spannung, wenn sie ungenutzt im Regal liegen.

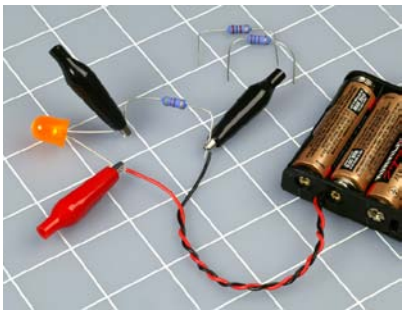


Abbildung 1-44. *Die Schaltung für Experiment 3 mit den Widerständen mit 470 Ω, 1 kΩ und 2 kΩ. Benutze die Krokodilklemmen so wie abgebildet, um einen Kontakt herzustellen. Probiere nacheinander die Widerstände durch und beobachte dabei die LED.*

Setze die Batterien in den Halter ein, achte darauf, die Batterien richtig herum einzusetzen. Die Minuspole liegen dabei jeweils an den kleinen Sprungfedern. Nimm dein Multimeter zur Hand und miss die Spannung, die an den Drähten anliegt, die aus dem Batteriehalter kommen. Es sollten mindestens 6 Volt sein.

Nimm jetzt einen Widerstand mit 2 kΩ, das bedeutet »2000 Ohm«. Wenn darauf bunte Streifen aufgedruckt sind, sollten diese entsprechend rot-schwarz-rot sein, für »2-0 und zwei weitere Nullen«. Da 2,2-kΩ-Widerstände einfacher zu bekommen sind als 2-kΩ-Widerstände, kannst du auch einen solchen benutzen. Die Farbringe sind dann rot-rot-rot.

Verbinde den Widerstand so mit dem Schaltkreis, wie in den Abbildungen 1-44 und 1-45 dargestellt ist, benutze dafür die Krokodilklemmen. Die LED sollte sehr schwach leuchten.

Jetzt ersetze den 2-kΩ-Widerstand durch einen 1-kΩ-Widerstand, der braun-schwarz-rot gestreift ist, für »1-0 und zwei weitere Nullen«. Die LED sollte jetzt etwas heller leuchten.

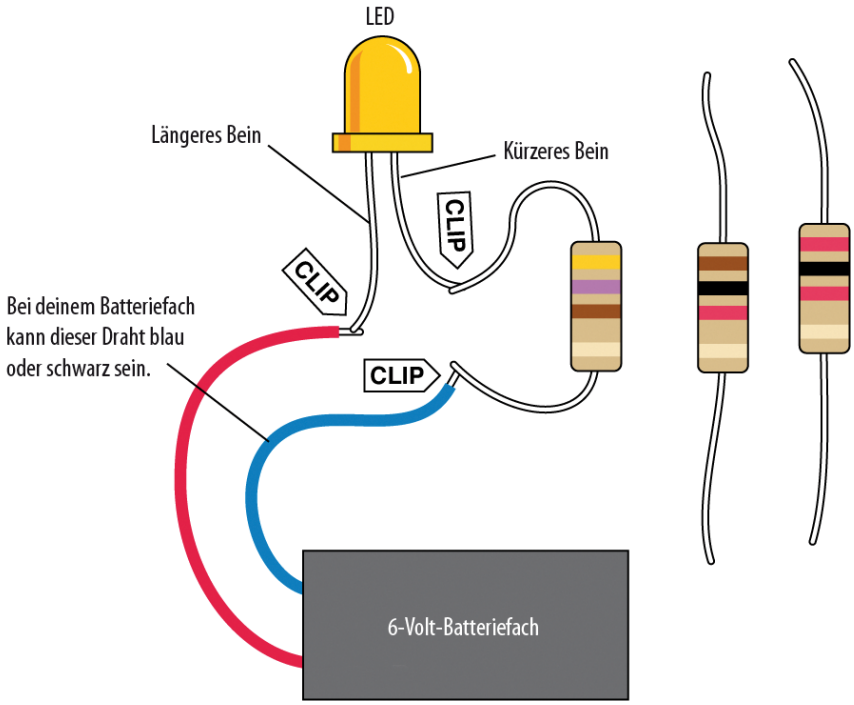


Abbildung 1-45. *So sieht der Aufbau mit einer großen LED aus. Wenn du mit dem höchsten Widerstandswert anfängst, wird die LED nur sehr schwach leuchten, wenn du den Stromkreis schließt. Der Widerstand vernichtet den Großteil der Spannung, daher bleibt für die LED nicht genügend Strom übrig, um hell zu leuchten.*

Nimm den 1-kΩ-Widerstand heraus und ersetze ihn durch einen 470-Ω-Widerstand, der gelb-violett-braun gestreift ist, was »4-7 und eine weitere Null« bedeutet. Die LED sollte noch heller als vorher leuchten.

Dies klingt alles recht profan, ist aber eine wichtige Grundlage. Der Widerstand blockiert einen Anteil der Spannung im Stromkreis. Du kannst ihn dir wie einen Knick oder eine Verstopfung in einem Schlauch vorstellen. Ein Widerstand mit höherem Wert blockiert mehr Spannung, so dass weniger für die LED übrig bleibt.

Aufräumen und Weiterverwendung

Die Batterien und die LED werden wir im nächsten Experiment wieder einsetzen. Die Widerstände können später wieder benutzt werden.

Experiment 4: Die Spannung verändern

Potentiometer gibt es in verschiedenen Formen und Größen, funktionieren aber alle gleich: Man kann mit diesem Gerät Spannung und Strom verändern, indem man den Widerstand verändert. Bei diesem Experiment wirst du mehr über Spannung, Stromstärke und ihr Verhältnis zueinander erfahren. Du lernst außerdem, wie man das Datenblatt eines Bauteile-Herstellers liest.

Du benötigst dieselben Gegenstände wie im letzten Experiment: Batterien, Batteriehalter, Krokodilklemmen und Leuchtdiode. Zusätzlich:

- Potentiometer, 2 kΩ linear. Anzahl: 2. (Siehe Abbildung 1-46.) Große Potentiometer, die so aussehen, werden immer seltener eingesetzt, stattdessen kommen kleinere Versionen zum Einsatz. Ich möchte aber, dass du eine große Ausführung benutzt, weil man damit einfacher arbeiten kann.
- Eine weitere LED
- Multimeter

Ein Blick ins Potentiometer

Als erstes möchte ich, dass du herausfindest, wie ein Potentiometer funktioniert. Das bedeutet, dass du es öffnen musst. Aus diesem Grund waren auf deinem Einkaufszettel auch zwei aufgeführt, falls du das erste nicht wieder zusammensetzen kannst.

Die meisten Potentiometer werden mit kleinen Metallzungen zusammengehalten. Diese müsstest du mit deinem Seitenschneider oder der Zange greifen können, um sie nach außen zu biegen. Nun sollte sich dein Potentiometer öffnen lassen, wie in den Abbildungen 1-47 und 1-48 gezeigt.

Abbildung 1-46

Abbildung 1-47

Abbildung 1-48. *Um das Potentiometer zu öffnen, biege zunächst die vier kleinen Metallzungen nach außen. (In Abbildung 1-47 kannst du sie links und rechts herausschauen sehen.) Im Inneren befindet sich eine Drahtspule, die um ein Kunststoffband gewickelt ist, und ein Federkontakt, der den Strom von jeder Position auf der Spule ab- oder dorthin hinleitet, wenn man an der Achse dreht.*

Je nachdem, ob du ein billiges Potentiometer oder die etwas luxuriösere Version gekauft hast, siehst du jetzt eine kreisförmige Fläche von leitfähigem Kunststoff oder eine runde Spule aus Draht. Das Prinzip ist aber bei beiden dasselbe. Der Draht oder der Kunststoff hat einen gewissen elektrischen Widerstand (in diesem Fall insgesamt 2K). Wenn du die Achse des Potentiometers drehst, schleift ein Kontakt über diese Widerstandsfläche. Das Resultat ist eine Verbindung mit jeder beliebigen Stelle auf der Fläche über den mittleren Anschluss.

Du kannst das Potentiometer wieder zusammenbauen. Wenn dir das nicht gelingt, nimm stattdessen dein Ersatzpotentiometer.

Um es zu testen, stelle dein Multimeter auf Widerstandsmessung (Ohm) und berühre das Potentiometer mit den Messspitzen wie in Abbildung 1-49, während du die Achse hin und her drehst.

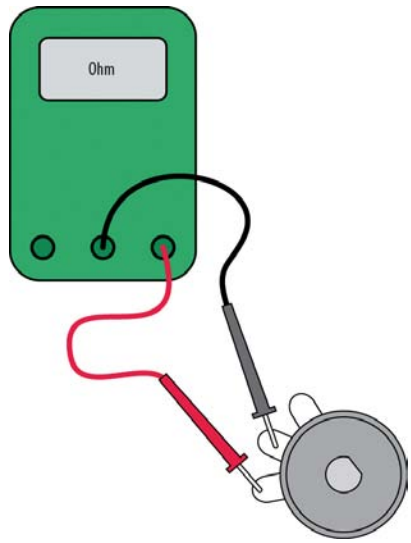


Abbildung 1-49. *Miss den Widerstand zwischen diesen zwei Anschlüssen des Potentiometers und drehe die Achse nach links und nach rechts.*

Die Leuchtdiode dimmen

Bevor du anfängst, drehe dein Potentiometer gegen den Uhrzeigersinn bis an den Anschlag, sonst brennt dir dir LED gleich als erstes durch. (Es gibt eine sehr, sehr kleine Menge an Potentiometern, bei denen man den Widerstand genau anders herum einstellt, aber wenn dein Potentiometer nach dem Öffnen etwa so aussieht wie in Abbildung 1-48, sollte meine Beschreibung stimmen.)

Jetzt verbinde alles so wie in den Abbildungen 1-50 und 1-51 gezeigt. Achte darauf, dass das blanke Metall der Krokodilklemmen sich nirgends berührt. Dann drehe das Potentiometer sehr langsam. Du wirst sehen, wie die LED immer heller und heller und heller wird – ups, und auf einmal ganz ausgeht. Merkst du, wie einfach es ist, moderne Elektronikbauteile zu zerstören? Wirf die LED weg. Sie wird nie mehr leuchten. Ersetze sie durch eine neue LED. Diesmal werden wir vorsichtiger sein.

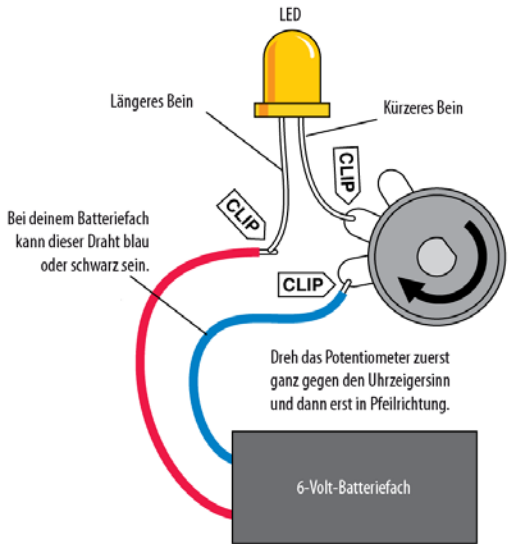


Abbildung 1-50. *Der Aufbau für Experiment 4. Über die Drehung an der Achse des 2-kΩ-Potentiometers wird dessen Widerstand auf einen Wert zwischen 0 und 2000 Ω eingestellt. Dieser Widerstand schützt die LED vor den vollen 6 Volt der Batterien.*

Abbildung 1-51. *Die LED auf diesem Bild ist erloschen, weil ich das Potentiometer ein wenig zu weit aufgedreht habe.*

Abbildung 1-52

Abbildung 1-53

Abbildung 1-54. *Bei jedem Multimeter misst man Gleichspannung etwas anders. Beim manuellen Gerät (oben) muss man den Schalter auf »DC« (Gleichstrom) stellen und dann die höchste zu messende Spannung einstellen: In diesem Fall ist 20 ausgewählt (da 2 zu wenig wäre). Bei dem Autorange-Messgerät stellt man den Schalter einfach auf »V« und das Multimeter findet den Messbereich selbst heraus.*

Um Messungen am Stromkreis, der durch die Batterien gespeist wird, durchzuführen, stelle zunächst dein Multimeter auf die Messung von Gleichspannung (Volt DC) ein. Berühre nun mit den Messspitzen die beiden Beinchen der LED. Versuche dabei, die Spitzen nicht zu bewegen, während du das Potentiometer ein wenig hin und her drehst. Du solltest beobachten, dass die Spannung um die LED sich dabei entsprechend verändert. Das nennt man Potentialdifferenz zwischen den beiden Anschlüssen der LED. Der gesamte Messvorgang ist in den Abbildungen 1-52 bis 1-54 dargestellt.

Wenn du an dieser Stelle eine kleine altmodische Glühbirne anstelle einer LED benutzen würdest, dann wäre diese Potentialdifferenz viel stärker. Eine Glühbirne verhält sich in diesem Fall wie ein »echter« Widerstand, eine LED dagegen passt sich selbst etwas an. Sie verändert ihren Widerstand, wenn sich die Spannung verändert.

Halte nun die Messspitzen an die zwei Anschlüsse des Potentiometers. So messen wir die Potentialdifferenz, die zwischen beiden vorliegt. Das Potentiometer und die LED teilen sich die insgesamt verfügbare Spannung. Wenn also die Potentialdifferenz (der Spannungsabfall) um das Potentiometer steigt, dann sinkt die Potentialdifferenz um die LED und umgekehrt. Siehe dazu Abbildungen 1-55 bis 1-57:

Worauf du achten solltest:

- Wenn man die Spannungsabfälle über den Bausteinen im Schaltkreis addiert, ergibt sich genau die Spannung, die von den Batterien geliefert wird.
- Spannung wird relativ gemessen, zwischen zwei Punkten in einem Schaltkreis.
- Setze dein Multimeter wie ein Stethoskop an, ohne die Verbindungen im Schaltkreis zu stören oder zu lösen.

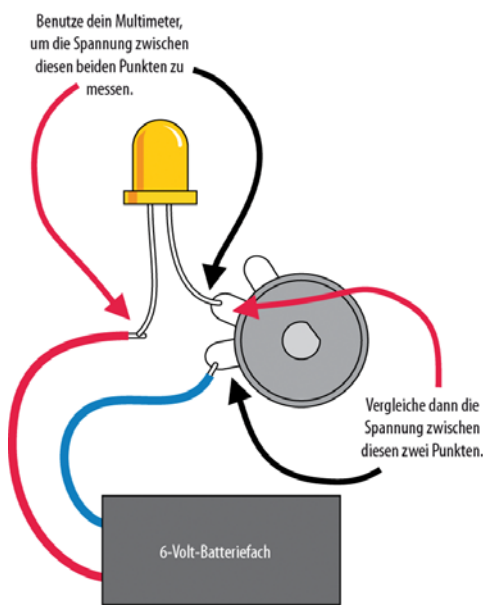


Abbildung 1-55. *So misst man die Spannung in einem einfachen Stromkreis.*

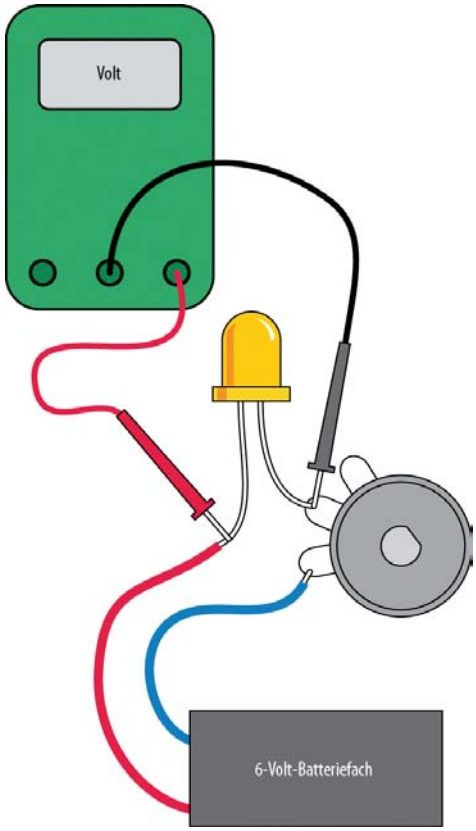


Abbildung 1-56. *Das Multimeter zeigt an, wie viel Spannung an der LED abfällt.*

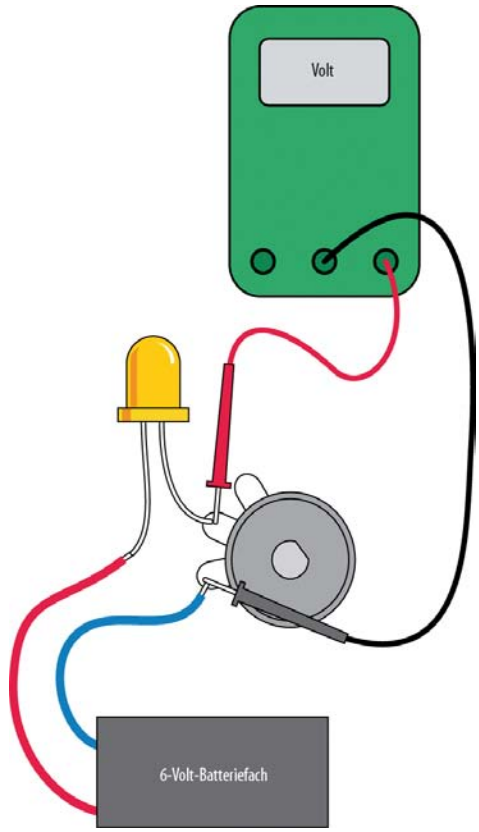


Abbildung 1-57. *Das Multimeter zeigt, wie viel Spannung am Potentiometer abfällt.*

Miss den Stromfluss

Jetzt möchte ich, dass du eine andere Messung vornimmst. Ich will, dass du den Stromfluss, d. h. die Stromstärke im Schaltkreis misst. Stelle dazu dein Multimeter auf mA (Milliampere). Wenn du die Stromstärke misst, dann achte auf Folgendes:

- Du kannst den Strom nur messen, wenn er durch das Messgerät fließt.
- Du musst das Multimeter in den Stromkreis einsetzen.
- Eine zu hohe Stromstärke wird die Sicherung in deinem Multimeter durchbrennen.

Achte darauf, dass dein Multimeter auf die Messung von mA, nicht Volt, eingestellt ist, bevor du die Messung beginnst. Bei einigen Multimetern muss man ein Messkabel in eine andere Buchse stecken, um die Stromstärke zu messen, siehe Abbildungen 1-58 bis 1-61.

Abbildung 1-58. *Bei jedem Multimeter wird die eingebaute Sicherung durchbrennen, wenn du damit eine zu große Stromstärke misst. In unserer Schaltung besteht das Risiko nicht, wenn das Potentiometer im mittleren Bereich bleibt. Stelle »mA« (Milliampere) ein und vergiss nicht, dass die angezeigte Zahl ein Tausendstel eines Amperes bedeutet.*

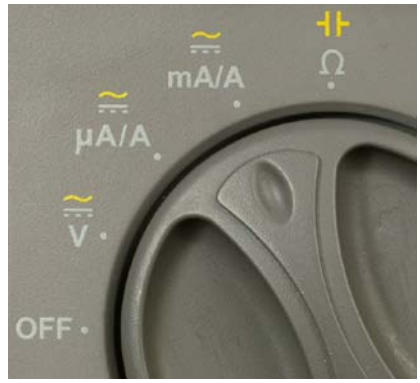


Abbildung 1-59

Abbildung 1-60

Abbildung 1-61. *Bei einem manuellen Multimeter wie diesem hier musst du eventuell den roten Anschluss in eine andere Buchse stecken, um Milliampere zu messen. Bei den meisten modernen Geräten ist das aber nur nötig, wenn du sehr große Stromstärken messen willst.*

Setze dein Multimeter so in den Schaltkreis ein, wie in Abbildung 1-62 zu sehen ist. Drehe das Potentiometer nicht mehr als halb auf. Der Widerstand des Potentiometers schützt sowohl das Multimeter als auch die LED. Wenn das Multimeter zu viel Strom abbekommt, musst du sicher später die eingebaute Sicherung auswechseln.

Drehe das Potentiometer ein wenig hin und her. Sicher merkst du, dass die Veränderung des Widerstandes im Stromkreis die Stromstärke verändert. Deshalb ist die LED im vorherigen Experiment auch durchgebrannt: Ein zu hoher Strom hat sie erhitzt und dadurch ist im Inneren etwas durchgeschmolzen, genaus so wie bei der Sicherung im Experiment davor. Ein höherer Widerstand begrenzt den Stromfluss, also die Stromstärke.

Setze dein Multimeter jetzt an einer anderen Stelle im Schaltkreis ein, wie in Abbildung 1-63 dargestellt ist. Wenn du das Potentiometer hin und her drehst, solltest du genau dieselben Auswirkungen wie in Abbildung 1-62 sehen. Das liegt daran, dass die Stromstärke an allen Punkten im Schaltkreis gleich ist. Das muss so sein, da die fließenden Elektronen nirgendwo anders hin können.

Zum Schluss sollten wir das noch einmal in nackten Zahlen ausdrücken. Lege die LED beiseite und setze stattdessen einen 1-kΩ-Widerstand ein, wie in Abbildung 1-64 zu sehen ist. Der Gesamtwiderstand im Schaltkreis beträgt nun 1 kΩ plus den Widerstandswert des Potentiometers, den du selbst einstellen kannst. (Das Multimeter hat selbst auch einen Innenwiderstand, der aber so klein ist, dass wir ihn ignorieren können.)

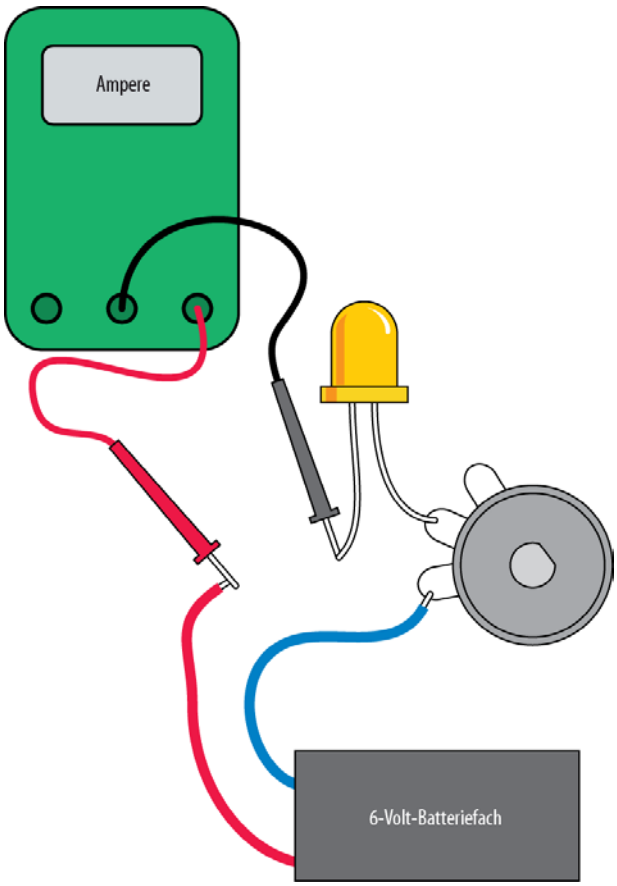


Abbildung 1-62. *Um Ampere zu messen, wie hier und in Abbildung 1-63 dargestellt wird, muss der Strom durch das Multimeter fließen. Wenn du den Widerstand erhöhst, begrenzt du die Stromstärke, und dieser geringere Stromfluss lässt die LED weniger hell leuchten.*

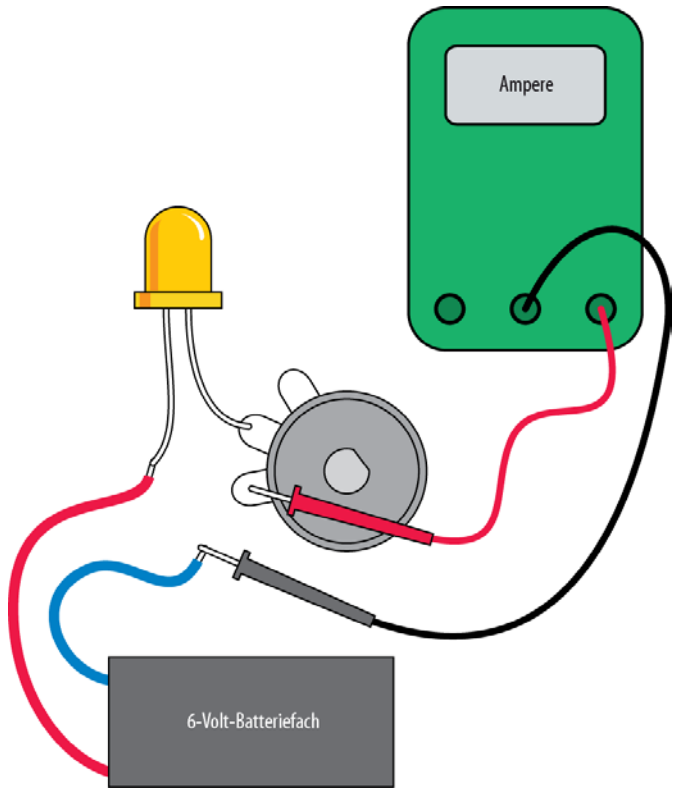


Abbildung 1-63

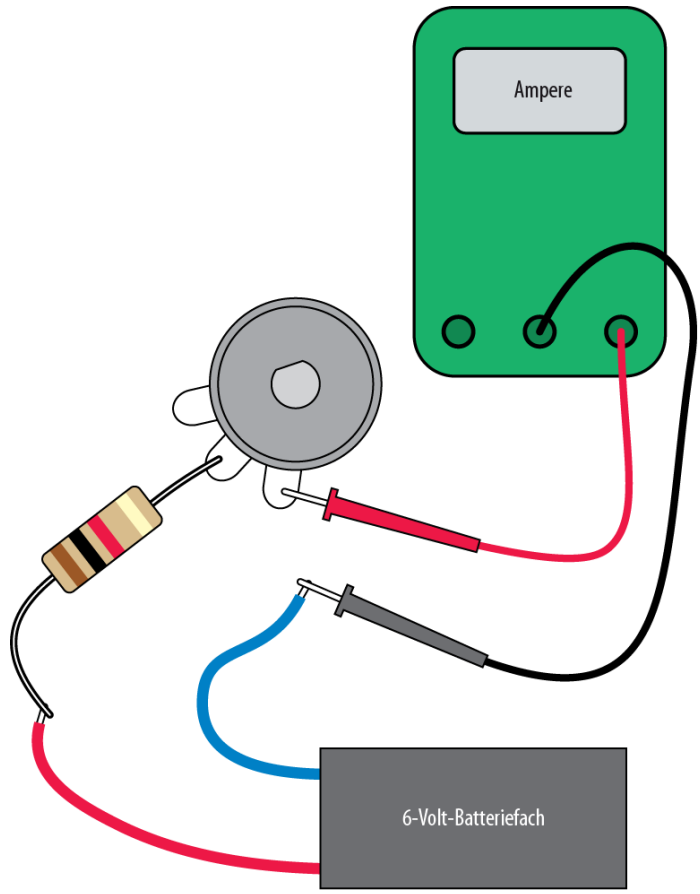


Abbildung 1-64. *Wenn du die LED durch einen Widerstand ersetzt, kannst du dich vergewissern, dass die Gesamtstromstärke, die im Stromkreis fließt, sich mit dem Gesamtwiderstand im Stromkreis verändert, solange die Spannung gleich bleibt.*

Wenn du das das Potentiometer ganz bis an den linken Anschlag drehst, dann beträgt der Gesamtwiderstand im Stromkreis 3 Kiloohm. Dein Multimeter sollte einen Stromfluss von etwa 2 mA anzeigen. Jetzt drehe das Potentiometer bis zur Mittelstellung, das ergibt etwa 2 Kiloohm Gesamtwiderstand. Du solltest ungefähr 3 mA messen. Drehe das Potentiometer bis an den rechten Anschlag, dann ergibt sich ein Gesamtwiderstand von 1 Kiloohm und du solltest etwa 6 mA messen. Vielleicht fällt dir auf, dass immer 6 herauskommt, wenn wir den Widerstand mit der Stromstärke multiplizieren – und das sind genau die angelegten 6 Volt. Siehe die folgende Tabelle.

Gesamtwiderstand	Stromstärke	Spannung
(kΩ)	(mA)	(V)
3	2	6
2	3	6
1	6	6

Man könnte sogar sagen:

Volt = Kiloohm × Milliampere

Moment mal: 1K sind 1000 Ohm und 1 mA ist 1/1000 eines Amperes. Also sollte unsere Formel besser so aussehen:

Volt = (Ohm × 1000) × (Ampere/1000)

Die beiden Faktoren 1000 kürzen sich weg, also erhalten wir:

Volt = Ohm × Ampere

Diese Formel nennen wir das Ohmsche Gesetz. Siehe dazu den Abschnitt »Grundlagen: Ohmsches Gesetz« auf der nächsten Seite.

GRUNDLAGEN

Reihen- und Parallelschaltung

Bevor wir weitermachen, solltest du wissen, wie der Widerstand in einem Schaltkreis zunimmt, wenn man Widerstände in Reihe oder parallel schaltet. Die Abbildungen 1-65 bis 1-67 verdeutlichen dies. Du kannst dir Folgendes merken:

- Bei der Reihenschaltung sind die Widerstände so verbunden, dass einer dem anderen folgt.
- Bei der Parallelschaltung sind die Widerstände so verbunden, dass sie nebeneinander liegen.

Wenn du zwei Widerstände mit gleichem Wert in Reihe schaltest, verdoppelst du den Gesamtwiderstand, da der Strom nacheinander durch zwei Engstellen fließen muss.

Wenn du zwei Widerstände mit gleichem Wert parallel schaltest, halbierst du den Gesamtwiderstand, da der Strom dann nicht nur durch einen, sondern durch zwei Wege fließen kann.

Tatsächlich gibt es normalerweise keinen Grund, Widerstände parallel zu schalten, aber wir schalten oft andere elektrische Bauteile parallel. Alle Glühbirnen bei dir zuhause sind z.B. so angeschlossen. Daher ist es hilfreich, wenn man verstanden hat, dass der Widerstand in einem Stromkreis sinkt, wenn man immer mehr Elemente parallel schaltet.

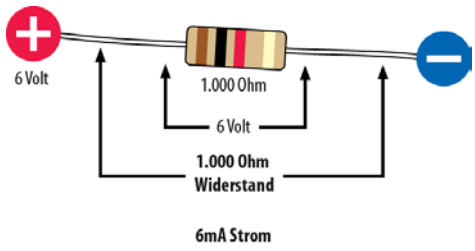


Abbildung 1-65. *Ein Widerstand bekommt die gesamte Spannung. Laut dem Ohmschen Gesetz zieht er einen Strom von U/R = 6/1000 = 0.,006 Ampere = 6 mA.*

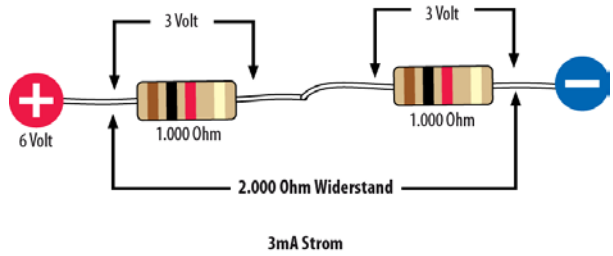


Abbildung 1-66. *Wenn zwei Widerstände in Reihe geschaltet werden, muss der Strom durch den ersten hinduch, um zum zweiten zu gelangen. Daher fällt über jeden der beiden die halbe Spannung ab. Der Gesamtwiderstand liegt jetzt bei 2000 Ohm. Laut dem Ohmschen Gesetz zieht die Schaltung einen Strom von U/R = 6/2000 = 0,003 Ampere = 3 mA.*

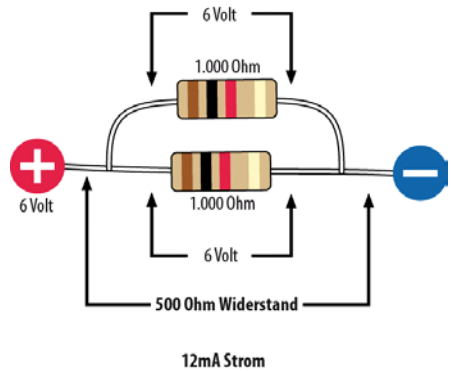


Abbildung 1-67. *Wenn zwei Widerstände parallel geschaltet werden, sind beide der gesamten Spannung ausgesetzt, also bekommen beide 6 Volt ab. Der Strom kann nun durch beide gleichzeitig fließen, also ist der Gesamtwiderstand der Schaltung nur noch halb so groß. Laut dem Ohmschen Gesetz zieht die Schaltung einen Strom von U/R = 6/500 = 0,012 Ampere = 12mA.*

GRUNDLAGEN

Das Ohmsche Gesetz

Die Stromstärke wird in der Regel mit dem Buchstaben I abgekürzt. Für die Spannung benutzt man das U (im englischen Sprachraum auch V) und für den Widerstand den Buchstaben R (lat. resistere: widerstehen). Mit diesen Formelzeichen kann man das Ohmsche Gesetz auf drei Arten schreiben:

$U = I \times R$

$I = U/R$

$R = U/I$

Merke dir, dass U der Spannungsunterschied zwischen zwei Punkten in einem einfachen Stromkreis ist. R ist der Widerstand in Ohm zwischen denselben Punkten. I ist die Stromstärke in Ampere, die zwischen den beiden Punkten durch den Stromkreis fließt.

Der Buchstabe I wird benutzt, weil die Stromstärke früher anhand ihrer Induktivität gemessen wurde, also der Eigenschaft, eine magnetische Wirkung auszuüben (zu induzieren).

Das Ohmsche Gesetz anwenden

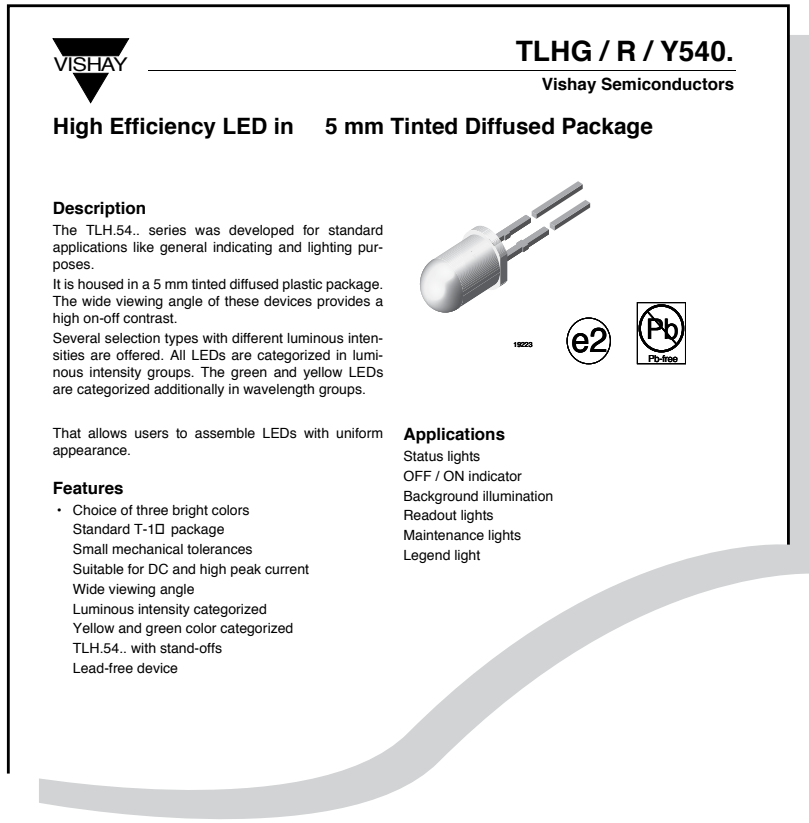
Das Ohmsche Gesetz ist sehr nützlich. Es hilft uns zum Beispiel herauszufinden, ob ein Bauteil problemlos in einer Schaltung verwendet werden kann. Anstelle das Teil solange zu belasten, bis es durchbrennt, können wir vorhersagen, ob es funktionieren wird.

Als du zum Beispiel das erste Mal am Potentiometer gedreht hast, wusstest du nicht, wie weit du drehen konntest, bis die LED durchbrennt. Wäre es da nicht hilfreich, genau zu wissen, welchen Widerstand man mit der LED in Reihe schalten könnte, so dass sie hinreichend geschützt ist und dabei so hell wie möglich leuchtet?

Wie man ein Datenblatt liest

Die Antwort auf diese Frage ist, wie fast alle Informationen, online zu finden.

So findest du das Datenblatt eines Herstellers (Abbildung 1-68). Suche zunächst das Bauteil, das dich interessiert, bei einem Online-Shop heraus. Dann google einfach die Artikelnummer und den Namen des Herstellers. In den meisten Fällen ist das Datenblatt der erste Suchtreffer.



VISHAY

TLHG / R / Y540.

Vishay Semiconductors

High Efficiency LED in 5 mm Tinted Diffused Package

Description

The TLH.54.. series was developed for standard applications like general indicating and lighting purposes.

It is housed in a 5 mm tinted diffused plastic package. The wide viewing angle of these devices provides a high on-off contrast.

Several selection types with different luminous intensities are offered. All LEDs are categorized in luminous intensity groups. The green and yellow LEDs are categorized additionally in wavelength groups.

That allows users to assemble LEDs with uniform appearance.

Features

- Choice of three bright colors
- Standard T-1¾ package
- Small mechanical tolerances
- Suitable for DC and high peak current
- Wide viewing angle
- Luminous intensity categorized
- Yellow and green color categorized
- TLH.54.. with stand-offs
- Lead-free device

Applications

Status lights
OFF / ON indicator
Background illumination
Readout lights
Maintenance lights
Legend light

Abbildung 1-68. *Der Anfang eines üblichen Datenblattes, das alle wichtigen Werte eines Produktes enthält und kostenlos online zu finden ist.*

HINTERGRUNDWISSEN

Wie viel Spannung verbraucht ein Draht?

Normalerweise können wir den elektrischen Widerstand in Drähten, wie zum Beispiel den Anschlussdrähten von Widerständen, vernachlässigen, weil er sehr gering ist. Wenn man aber versucht, einen starken Strom durch einen sehr langen, sehr dünnen Draht zu leiten, wird der Widerstand des Drahtes wieder wichtig.

Aber wie wichtig? Wir benutzen wieder das Ohmsche Gesetz, um dies herauszufinden.

Gehen wir davon aus, dass ein sehr langer Draht einen Widerstand von 0,2 Ω hat. Wir wollen gerne 15 Ampere hindurchleiten. Wie viel Spannung stiehlt der Draht mit seinem eigenen Widerstand dem Stromkreis?

Wir beginnen wieder damit, das aufzuschreiben, was wir wissen:

$R = 0{,}2\ \Omega$

$I = 15\ A$

Wir suchen U, die Potentialdifferenz (Spannung) für den Draht, also nehmen wir die Schreibung des Ohmschen Gesetzes, bei der U auf der linken Seite steht:

$U = I \times R$

Jetzt können wir die Werte einsetzen:

$U = 15 \times 0{,}2 = 3\ \text{Volt}$

Drei Volt sind nicht so viel, wenn wir eine Stromversorgung mit hoher Spannung haben, aber bei einer 12-Volt-Autobatterie wird ein Draht dieser Länge ein Viertel der Gesamtspannung wegnehmen.

Jetzt weißt du auch, warum die Verkabelung in Autos relativ dick ist: Um ihren Widerstand weit unter 0,2 Ω zu reduzieren. Siehe Abbildung 1-69.

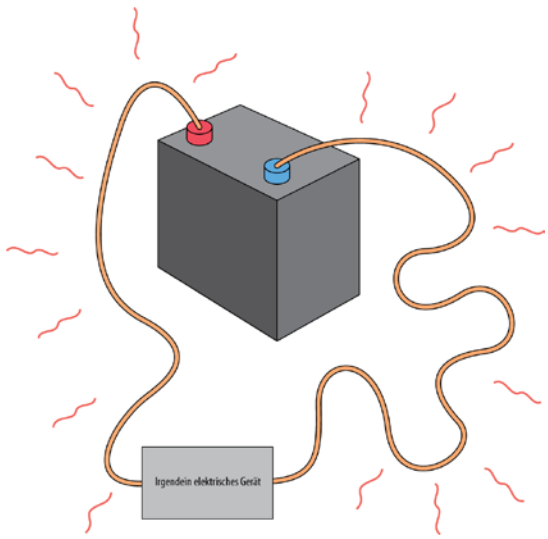


Abbildung 1-69. *Wenn ein elektrisches Gerät an einem langen, dünnen Draht über eine 12-Volt-Autobatterie betrieben wird, stiehlt der Widerstand des Drahts einen Teil der Spannung und gibt ihn als Wärme ab.*

HINTERGRUNDWISSEN

Woher die Leistung kommt

James Watt (Abbildung 1-70), 1736 in Schottland geboren, ist als Erfinder der Dampfmaschine bekannt. Er richtete an der Universität von Glasgow eine kleine Werkstatt ein. Er hatte Mühe, seine Konstruktion, die mittels Dampf einen Kolben in einem Zylinder bewegt, effizient zu perfektionieren. Finanzielle Probleme und die primitive Qualität der Metallbearbeitung verzögerten die praktische Anwendung bis 1776.

Auch wenn es nicht leicht war, ein Patent zu erhalten (das damals nur durch Parlamentsbeschluss verliehen wurde), nahmen Watt und seine Geschäftspartner letztendlich viel Geld mit seinen Erfindungen ein. Er lebte deutlich früher als die elektrischen Pioniere, und erst im Jahre 1889 (70 Jahre nach seinem Tod) wurde die Einheit für die elektrische Leistung, das Ergebnis der Multiplikation der Einheiten Ampere und Volt, nach ihm benannt. Siehe dazu den Teil »Watt-Grundlagen« auf Seite 31.

Abbildung 1-70. *James Watts Erforschung der Dampfkraft ermöglichte die industrielle Revolution. Er wurde posthum geehrt, indem die Grundeinheit der elektrischen Leistung nach ihm benannt wurde.*

Hier ist ein Beispiel. Nehmen wir an, ich brauche eine rote Leuchtdiode, z.B. von Vishay, Artikel TLHR5400, die so weit verbreitet ist, dass ich sie einzeln für 9 Cent kaufen kann. Ich klicke also auf den Link zum Datenblatt des Herstellers, Vishay Semiconductor. Sekunden später habe ich die PDF-Datei auf dem Bildschirm. Dieses Datenblatt bezieht sich auf die Typen TLHR, TLHG und TLHY der LED, die jeweils rot, grün und gelb sind, wie der letzte Buchstabe im Code, R, G und Y (engl. yellow) nahelegt. Ich scrolle herunter bis zum Abschnitt »Optical and Electrical Characteristics« (optische und elektrische Kenndaten). Wie ich dort lesen kann, hat die LED eine »Typ« (typische) »forward voltage« (Durchlassspannung) von 2 Volt, wenn sie einen Strom von 20 mA zieht. Das »Max« (Maximum) beträgt 3 Volt.

Wir schauen uns noch ein anderes Datenblatt an, da nicht alle auf die gleiche Weise geschrieben sind. Ich wähle eine andere LED von Kingbright mit der Artikelnummer WP711SGC. Ein Klick auf den Link auf der Website des Herstellers, und schon auf der zweiten Seite des Datenblattes finde ich die typische Durchlassspannung, die 2,2 Volt, maximal 2,5 Volt beträgt, sowie den maximalen Durchlassstrom (forward current) von 25 mA. Ich finde auch weitere Informationen: Eine maximale Sperrspannung (reverse voltage) von 5 Volt und einen maximalen Sperrstrom (reverse current) von 25 µA (das sind Mikroampere, 1000 Mal kleiner als Milliampere). Daraus können wir schließen, dass wir es vermeiden sollten, die LED falsch herum gepolt mit zu viel Spannung zu versoren. Wenn du die Sperrspannung überschreitest, riskierst du, dass die LED durchbrennt. Immer auf die Polung achten!

Kingbright gibt auch an, wieviel Hitze die LED aushält: 260° C für einige Sekunden. Diese Information ist nützlich, da wir schon bald die Krokodilklemmen zur Seite legen und elektronische Bauteile mit heißem, flüssigen Lötzinn verbinden werden. Da wir schon eine Batterie, eine Sicherung und eine LED in nur vier Experimenten zerstört haben, wird es dich sicher nicht überraschen, wenn ich jetzt ankündige, dass wir noch einige Bauteile zerstören werden, indem wir ihre Grenzen mit dem Lötkolben austesten.

Nun wissen wir, was eine LED will, und können herausfinden, wie wir sie mit Strom versorgen können. Wenn du Schwierigkeiten hast, mit Nachkommastellen zu rechnen, schau dir den Grundlagen-Abschnitt »Nachkommastellen« auf der nächsten Seite an, bevor du weitermachst.

Wie groß muss der Widerstand für eine LED sein?

Gehen wir mal davon aus, dass wir die LED von Vishay benutzen. Erinnerst du dich an die Vorgaben aus dem Datenblatt? Ein Maximum von 3 Volt und im sicheren Bereich eine Stromstärke von 20mA.

Ich werde die Spannung auf 2,5 Volt begrenzen, um auf der sicheren Seite zu sein. Wir haben eine Batterie, die 6 Volt liefert. Davon ziehen wir die 2,5 ab und erhalten 3,5. Also brauchen wir einen Widerstand, der 3,5 Volt aus dem Stromkreis nimmt, so dass 2,5 für die LED übrig bleiben.

Die Stromstärke ist in einem einfachen Stromkreis überall gleich hoch. Wenn wir also maximal 20 mA durch die LED fließen lassen wollen, wird dieselbe Stromstärke auch durch den Widerstand fließen.

Nun können wir aufschreiben, was wir über den Widerstand im Stromkreis wissen. Denk daran, dass wir alle Einheiten in Volt, Ampere und Ohm umschreiben müssen. 20 mA sollte also als 0,02 A geschrieben werden:

U = 3,5 V (der Spannungsabfall über dem Widerstand)
I = 0,02 A (der Strom, der durch den Widerstand fließt)

Wir suchen R, den Widerstand. Also benutzen wir die Schreibweise des Ohmschen Gesetzes, bei der R auf der linken Seite steht:

R= U/I

Jetzt können wir die Werte einsetzen:

R = 3,5/0,02

Wenn du Dezimalbrüche nicht im Kopf ausrechnen kannst, nimm deinen Taschenrechner. Das Ergebnis lautet:

R = 175 Ω

Leider ist 175 Ω kein Standardwert. Du musst dir also mit 180 oder 220 Ω behelfen, aber diese Werte liegen nahe genug am erforderlichen.

Es zeigt sich, dass der Widerstand mit 470 Ω, den du im Experiment 3 benutzt hat, eine sehr sichere Wahl war. Ich habe ihn vorgeschlagen, weil ich eingangs erwähnt hatte, dass du jede beliebige LED benutzen kannst. Egal welche du dir ausgesucht hast, 470 Ω reichen aus, um sie zu schützen.

Aufräumen und Weiterverwendung

Die durchgebrannte LED kann in den Müll. Alles andere werden wir weiterverwenden.

GRUNDLAGEN

Nachkommastellen

Der legendäre britische Politiker Sir Winston Churchill hat sich einmal über »diese verdammten Kommas« beschwert. Er meinte das Dezimalkomma. Da Churchill damals Finanzminister war und somit verantwortlich für alle Ausgaben der Regierung, waren seine Schwierigkeiten mit Nachkommastellen ein kleines Problem. Er hat sich natürlich auf altehrwürdige, britische Art dort hindurchgeschummelt, und das kannst du auch.

Du kannst einen Taschenrechner benutzen – oder aber diese zwei Grundregeln beachten.

Multiplizieren: Nullen zusammenzählen

Stell dir vor, du musst 0,04 mit 0,005 multiplizieren:

1. Zähle die Anzahl aller Nullen nach beiden Kommas. In diesem Fall sind das drei Nullen.
2. Multipliziere die Zahlen, die nach den Nullen kommen. In diesem Fall: $4 \times 5 = 20$.
3. Das Ergebnis schreibst du als eine 0, danach ein Komma, dann die Summe der Nullen, danach das Ergebnis der Multiplikation. Also so: 0,00020, was dasselbe wie 0,0002 ist.

Dividieren: Nullen wegstreichen

Stell dir vor, du musst 0,006 durch 0,0002 teilen:

1. Schiebe das Komma bei beiden Zahlen um die gleiche Anzahl an Stellen nach rechts, und zwar so lange, bis beide Zahlen größer als 1 sind. In diesem Fall schiebst du das Komma um vier Stellen weiter, so dass du als Resultat schließlich nur noch 60 durch 2 dividieren musst.
2. Wenn du das ausrechnest, bekommst du das Ergebnis: 30.

THEORIE

Ausgerechnet: Deine Zunge

Jetzt komme ich noch einmal auf die Frage aus dem vorherigen Experiment zurück: Warum wurde deine Zunge nicht heiß?

Du hast das Ohmsche Gesetz kennengelernt und kannst das jetzt in Zahlen ausdrücken. Nehmen wir an, die Batterie hatte eine Spannung von 9 Volt und deine Zunge lieferte einen Widerstand von 50K, was 50.000 Ohm sind. Schreib auf, was du weißt:

U = 9 V

R = 50.000 Ω

Wir suchen die Stromstärke I, nehmen uns also die Schreibung des Ohmschen Gesetzes, bei der I links steht:

I = U/R

Nun kannst du die Werte einsetzen:

I = 9/50.000 = 0,00018 Ampere

Verschiebe das Komma um drei Stellen, um es in Milliampere zu schreiben:

I = 0,18 mA

Dies ist eine sehr niedrige Stromstärke, die bei 9 Volt nicht viel Hitze verursachen wird.

Aber was war, als du die Batterie kurzgeschlossen hattest? Wie viel Strom hat die Drähte erhitzt? Nehmen wir mal an, die Drähte hatten einen Widerstand von 0,1 Ohm (vermutlich haben sie noch weniger, aber wir schätzen jetzt erst mal 0,1). Schreib auf, was wir schon wissen:

U = 1,5 V

R = 0,1 Ω

Wir suchen hier wieder die Stromstärke I, also benutzen wir folgende Formel:

I = U/R

Nun kannst du wieder die Werte einsetzen:

I = 1,5/0,1 = 15 Ampere

Das ist ein fast 100.000-fach höherer Strom verglichen mit dem, der durch deine Zunge geflossen ist, und er konnte natürlich viel mehr Hitze erzeugen, auch wenn die Spannung niedriger war.

Kann diese kleine Batterie wirklich 15 Ampere liefern? Du erinnerst dich, dass die Batterie und der Draht heiß wurden. Daraus können wir schließen, dass die Elektronen im Inneren der Batterie und im Draht einen gewissen Widerstand hatten. (Wo wäre sonst die Hitze hergekommen?) Normalerweise können wir den Innenwiderstand einer Batterie vernachlässigen, weil er sehr klein ist. Bei hohen Stromstärken wird er jedoch zum Faktor.

Ich habe gezögert, die Batterie mit einem Multimeter kurzzuschließen, um die Stromstärke zu messen. Mein Multimeter brennt durch, wenn der Strom größer als 10 A ist. Ich habe es jedoch mit anderen Sicherungen im Stromkreis ausprobiert, um zu prüfen, ob sie durchbrennen. Eine 10-A-Sicherung ist nicht geschmolzen. Ich bin mir also recht sicher, dass bei der Batteriemarke, die ich benutzt habe, der Kurzschlussstrom geringer als 10 A war, ich weiß aber sicher, dass er über 3 A liegt, da die 3-A-Sicherung gleich durchgebrannt ist.

Der Innenwiderstand der 1,5-Volt-Batterie hat also den durch den Kurzschluss verursachten Strom begrenzt. Daher hatte ich davon abgeraten, eine größere Batterie (vor allem eine Autobatterie) zu benutzen. Größere Batterien haben einen deutlich kleineren Innenwiderstand, erlauben also gefährlich hohe Stromstärken, die explosive Mengen an Hitze erzeugen. Eine Autobatterie ist so ausgelegt, dass sie beim Anlassen Hunderte Ampere liefern kann. Das reicht deutlich aus, um Drähte zu schmelzen und schlimme Verbrennungen zu verursachen. Du kannst mit einer Autobatterie sogar Metall schweißen.

Lithium-Batterien haben ebenfalls einen niedrigen Innenwiderstand, was sie bei einem Kurzschluss sehr gefährlich macht. Hohe Stromstärken können genau wie hohe Spannungen gefährlich sein.

GRUNDLAGEN

Watt-Grundwissen

Bisher habe ich eine Einheit nicht erwähnt, die aber jeder kennt: Watt.

Ein Watt ist eine Einheit der Leistung. Ingenieure definieren Leistung so: Ein Mensch, ein Tier oder eine Maschine leistet eine Arbeit über eine gewisse Zeit, wenn etwas bewegt wird und dabei ein mechanischer Widerstand überwunden wird. Beispiele dafür sind eine Dampfmaschine, die einen Zug auf einer ebenen Strecke zieht (und Reibung und Luftwiderstand überwindet) oder ein Mensch, der eine Treppe hochsteigt (und die Schwerkraft überwindet).

Wenn Elektronen sich durch eine Schaltung bewegen, überwinden sie eine Art Widerstand, setzen also eine Leistung um, die in Watt gemessen werden kann. Die Definition ist einfach:

Watt = Volt × Ampere

Mit den Symbolen für die physikalischen Größen schreibt man Folgendes, wobei alle drei Schreibweisen für denselben Zusammenhang stehen.

$P = U \times I$

$U = P/I$

$I = P/U$

Vor dem Watt kann auch ein »m« für »milli« stehen, genau so wie bei Volt:

Wert in Watt	Gängige Schreibweise	Abkürzung
0,001 Watt	1 Milliwatt	1 mW
0,01 Watt	10 Milliwatt	10 mW
0,1 Watt	100 Milliwatt	100 mW
1 Watt	1000 Milliwatt	1 W

Da Kraftwerke, Solaranlagen und Windparks mit viel höheren Werten zu tun haben, siehst du oft sicher auch Verweise auf Kilowatt (mit dem Buchstaben k) und Megawatt (mit einem großen M, nicht zu verwechseln mit dem kleinen m für Milliwatt):

Wert in Watt	Gängige Schreibweise	Abkürzung
1000 Watt	1 Kilowatt	1 kW
1.000.000 Watt	1 Megawatt	1 MW

Die Leistung von Glühbirnen wird in Watt angegeben, genauso wie die von Stereoanlagen. Das Watt ist nach James Watt, dem Erfinder der Dampfmaschine benannt. Watt lassen sich in Pferdestärken (PS) umrechnen und umgekehrt.

THEORIE

Einschätzen der Leistung

Ich habe bereits erwähnt, dass Widerstände gewöhnlich nach ihrer Nennlast von 1/4 Watt, 1/2, 1 Watt und so weiter eingestuft werden. Ich hatte dir vorgeschlagen, Widerstände mit 1/4 Watt oder mehr zu kaufen. Woher habe ich das gewusst?

Schau dir noch einmal den Stromkreis mit der LED an. Du erinnerst dich, dass wir wollten, dass der Widerstand die Spannung um 3,5 Volt senkt, bei einer Stromstärke von 20 mA. Wie viel Leistung in Watt würde das dem Widerstand auferlegen?

Schreib auf, was du weißt:

$U = 3{,}5$ V (der Spannungsabfall über dem Widerstand)

$I = 20$ mA $= 0{,}02$ A (der Strom durch den Widerstand)

Wir suchen die Leistung P, also nehmen wir die folgende Schreibweise der Formel:

$P = U \times I$

Setze nun die Werte ein:

$P = 3{,}5 \times 0{,}02 = 0{,}07$ Watt (die Leistung, die vom Widerstand abgeführt wird)

Da 1/4 Watt dasselbe ist wie 0,25 Watt, hat ein 1/4-Watt-Widerstand demnach etwa die vierfache Belastbarkeit. Hier hättest du sogar einen 1/8-Watt-Widerstand nehmen können, aber wir brauchen in kommenden Experimenten noch Widerstände, die 1/4 Watt aushalten. Es ist kein Problem, einen Widerstand mit einer höheren Nennlast zu benutzen als eigentlich nötig wäre.

Experiment 5: Wir bauen uns eine Batterie

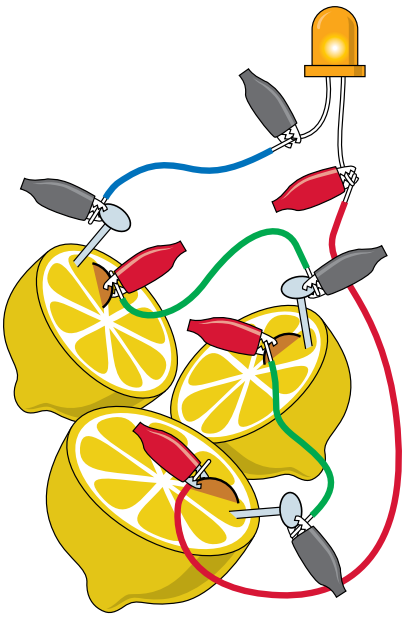


Abbildung 1-71. *Eine Batterie aus drei Zitronen. Sei nicht zu sehr enttäuscht, wenn die LED nicht leuchtet. Die Zitronen haben einen hohen Widerstand, können also nicht viel Strom liefern, besonders weil die Oberflächen der Nägel und Münzen vergleichsweise klein sind. Die Zitronenbatterie erzeugt jedoch genug Spannung, um sie mit deinem Multimeter messen zu können.*

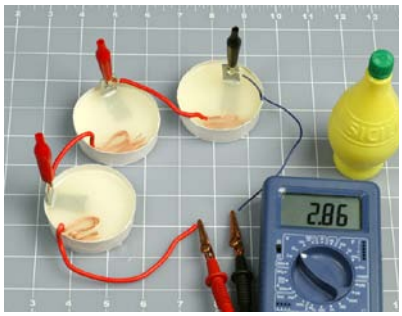


Abbildung 1-72. *Zitronensaft aus der Flasche funktioniert offenbar genau so gut wie frischer Saft. Ich habe drei Pappbecher unten abgeschnitten und in jeden ein beschichtetes Blech und als positive Elektrode eine dicke Kupferlitze gelegt.*

Vor langer Zeit, lange bevor es Internet, Filesharing und Handys gab, langweilten sich Kinder so sehr, dass sie sich für Experimente am Küchentisch begeisterten. Sie steckten zum Beispiel einen Nagel und einen Pfennig in eine Zitrone, um eine einfache Batterie zu bauen. Kaum zu glauben, aber wahr.

Das macht heute wirklich nicht mehr viel her, aber ich will trotzdem, dass du es ausprobierst. Wenn man ein Gefühl für Elektrizität bekommen will, sollte man auch wissen, wie einfach sie mit handelsüblichen Dingen herzustellen ist. Außerdem: Wenn du genug Zitronen benutzt, reicht die Spannung *möglicherweise*, um eine LED zu betreiben.

Die Grundbestandteile einer Batterie sind zwei Metallelektroden, die von einem Elektrolyt umgeben sind. Ich erkläre diese Begriffe an dieser Stelle jetzt nicht. (Sie werden im folgenden Abschnitt: »Theorie: Das Wesen der Elektrizität« erläutert.) Im Moment musst du nur wissen, dass der Zitronensaft dein Elektrolyt ist und Kupfer und Zink deine Elektroden sind. Eine Centmünze eignet sich als Kupferelektrode, wenn sie recht neu ist und noch glänzt. Heutzutage sind die Münzen nicht mehr aus reinem Kupfer, sondern nur noch kupferbeschichtet, aber das reicht aus.

Um Zink zu finden, musst du in einem Baumarkt nach Dachnägeln fragen. Diese Nägel sind verzinkt, damit sie nicht rosten. Kleine Metallwinkel und Flachverbinder sind auch oft verzinkt. Sie haben ein stumpfes, silbriges Aussehen. Wenn die Oberfläche eher spiegelglatt aussieht, sind sie wahrscheinlich vernickelt.

Schneide eine Zitrone in der Mitte durch und stelle dein Multimeter so ein, dass es bis 2 Volt Gleichstrom (DC) misst. Halte eine Spitze an eine Centmünze und die andere an einen Dachnagel (oder ein anderes verzinktes Teil). Stecke dann die Münze und den Nagel in das Fruchtfleisch der Zitrone. Sie sollten so nah wie möglich nebeneinander stecken, dürfen sich aber nicht berühren. Das Multimeter sollte etwa 0,8 bis 1 Volt anzeigen.

Du kannst mit verschiedenen Gegenständen und Flüssigkeiten ausprobieren, was am besten funktioniert. Wenn du den Zitronensaft in ein Schnapsglas oder einen Eierbecher ausdrückst und den Nagel und die Münze dort hineintauchst, kannst du die Leistung deiner Batterie verbessern. Es ist dann aber etwas schwieriger, alles an Ort und Stelle zu halten. Statt Zitronensaft kannst du auch Grapefruitsaft oder Essig benutzen.

Um eine normale LED zu betreiben brauchst du mehr als 1 Volt. Wie erzeugen wir eine hörere Spannung? Natürlich indem wir Batterien in Reihe schalten. Anders gesagt: Mehr Zitronen! (Oder mehr Schnapsgläser oder Eierbecher mit Zitronensaft.) Du brauchst außerdem kurze Drähte, um mehrere Elektroden zu verbinden, und das greift vielleicht auf Kapitel 2 vor, in dem ich beschreiben werde, wie man Kabel abisoliert. Die Abbildungen 1-71 und 1-72 zeigen den Aufbau.

THEORIE

Das Wesen der Elektrizität

Um Elektrizität zu verstehen, muss man mit etwas Grundwissen über Atome anfangen. Jedes Atom besteht aus einem Atomkern im Zentrum, der Protonen enthält, die eine positive Ladung tragen. Der Atomkern ist von Elektronen umgeben, die eine negative Ladung tragen.

Um den Kern eines Atoms zu spalten, wird sehr viel Energie benötigt, aber es wird dabei auch sehr viel Energie freigesetzt, wie man bei der Explosion einer Atombombe sehen kann. Um einige Elektronen zu überzeugen, ein Atom zu verlassen (oder sich in ein Atom einzufügen), wird hingegen sehr wenig Energie benötigt. Wenn zum Beispiel Zink chemisch mit einer Säure reagiert, werden Elektronen abgegeben. Genau das passiert mit der Zinkelektrode der chemischen Batterie in Experiment 5.

Diese Reaktion lässt schnell wieder nach, wenn sich Elektronen an der Zinkelektrode ansammeln. Sie stoßen einander ab, können aber nicht weg. Du kannst sie dir wie eine verfeindete Menschenmenge vorstellen, bei der jeder will, dass die anderen verschwinden und dass niemand Neues hinzukommt, wie in Abbildung 1-73.

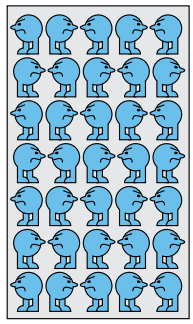


Abbildung 1-73. *Die Elektronen an einer Elektrode haben eine ablehnende Grundhaltung, die man gegenseitige Abstoßung nennt.*

Überlege, was geschieht, wenn die Zinkelektrode, die einen Elektronenüberschuss hat, über einen Draht mit einer anderen Elektrode verbunden wird, die aus einem anderen Material besteht und einen Elektronenmangel aufweist. Die Elektronen können sich sehr einfach durch den Draht bewegen, indem sie von einem Atom zum nächsten springen. Also fliehen sie von der Zinkelektrode und laufen durch den Draht, angetrieben von ihrem größten Wunsch, sich voneinander zu entfernen. Siehe Abbildung 1-74. Diese gegenseitige Abstoßungskraft erzeugt elektrischen Strom.

Nachdem die Elektronenbevölkerung an der Zinkelektrode abgenommen hat, kann die Zink-Säure-Reaktion weitergehen. Die fehlenden Elektronen werden durch neue ersetzt, die es dann ihren Vorgängern gleichtun und versuchen, sich voneinander zu entfernen, indem sie über den Draht wegrennen. Der Vorgang geht immer weiter, bis die Zink-Säure-Reaktion zum Stillstand kommt. Das passiert in der Regel, weil eine Schicht einer chemischen Verbindung wie Zinkoxid entsteht, die nicht mit der Säure reagiert und die Säure davon abhält, mit dem Zink darunter zu reagieren. (Deshalb sah deine Zinkelektrode auch möglicherweise so dunkel aus, als du sie aus dem sauren Elektrolyt genommen hast.)

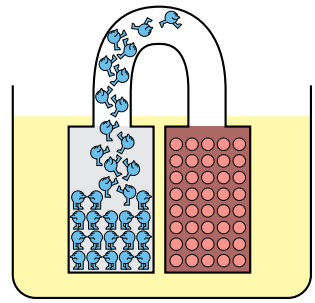


Abbildung 1-74. *Sobald wir einen Weg von einer Zinkelektrode, die von Elektronen bevölkert ist, zu einer Kupferelektrode, die »Löcher« für die Elektronen frei hat, freigeben, sorgt die gegenseitige Abstoßung dafür, dass die Elektronen so schnell wie möglich voreinander in ihr neues Zuhause fliehen wollen.*

Diese Beschreibung gilt für eine »Primärbatterie«, also eine, die sofort Strom erzeugen kann, sobald eine Verbindung zwischen beiden Polen es ermöglicht, dass Elektronen von der einen Elektrode zur anderen fließen. Die Stromstärke, die eine Primärbatterie erzeugen kann, hängt von der Geschwindigkeit ab, mit der die chemischen Reaktionen in der Batterie Elektronen freisetzen können.

Wenn das reine Metall in den Elektroden durch die chemischen Reaktionen aufgebraucht wurde, kann die Batterie keinen Strom mehr erzeugen und ist leer. Sie kann auch nicht so leicht wieder aufgeladen werden, weil die chemischen Reaktionen sich nicht einfach umkehren lassen und weil die Elektroden oxidiert sein können.

In einer wiederaufladbaren Batterie (Sekundärbatterie), meistens Akkumulator oder Akku genannt, sind schlauerweise die Elektroden und das Elektrolyt so gewählt, dass die chemische Reaktion umgekehrt werden kann.

Wenn du den Versuch sorgfältig aufbaust und darauf achtest, dass die Elektroden sich nirgends berühren, kannst du es schaffen, deine LED mit zwei oder drei Zitronenbatterien in Reihe zum Leuchten zu bringen. Weiter hinten im Buch wird es noch um Schwachstrom-LEDs gehen. Du kannst online nach diesen LEDs (»low current«) suchen und einige davon kaufen, um die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, dass deine Zitronensaftbatterie funktioniert.

Wie hoch ist die Stromstärke, die deine Zitronenbatterie erzeugt? Stelle dein Millimeter auf den Messbereich für Milliampere und verbinde es mit dem Nagel und der Münze. Ich konnte etwa 2 mA messen. Bei der Verwendung von dicker Kupferlitze anstelle der Centmünze und eines großen Flachverbinders anstelle eines Dachnagels, eingetaucht in Grapefruitsaft, waren es sogar 10 mA. Eine größere Metalloberfläche stellt einen besseren Kontakt zum Elektrolyt her. So entsteht eine größere Stromstärke. (Verbinde dein Multimeter direkt mit den Polen einer Batterie, um die Ampere zu messen. Die Stromstärke wird so hoch sein, dass die Sicherung im Messgerät durchbrennen kann.)

Wie hoch ist der Innenwiderstand deiner Zitrone? Lege dazu die Kupfer- und Zink-Elektroden beiseite und stecke die vernickelten Prüfspitzen in den Saft. Ich habe etwa 30 kΩ gemessen, wenn beide Spitzen in demselben Segment der Zitrone stecken, und 40 kΩ oder mehr, wenn sie in verschiedenen Segmenten stecken. Ist der Widerstand geringer, wenn man den Saft in einem Glas misst?

Hier sind noch ein paar Fragen, denen du vielleicht nachgehen willst: Wie lange liefert deine Zitronenbatterie Strom? Und warum verfärbt sich deiner Meinung nach deine verzinkte Elektrode, nachdem sie für eine gewisse Zeit benutzt wurde?

In einer Batterie wird Elektrizität durch einen Austausch von Ionen oder frei beweglichen Elektronen zwischen Metallen erzeugt. Wenn du darüber mehr wissen willst, schau dir den Abschnitt »Theorie: Das Wesen der Elektrizität« auf der vorherigen Seite an.

Aufräumen und Weiterverwendung

Die Metallteile, die du in die Zitronen oder den Saft gesteckt hast, haben sich vielleicht verfärbt, können aber noch benutzt werden. Ob du die Zitronen noch verspeisen willst, kannst du selbst entscheiden.

HINTERGRUNDWISSEN

Positiv und negativ

Elektrischer Strom ist ein Fluss von Elektronen, die negativ geladen sind. Also warum heißt es immer, dass Strom vom (positiven) Pluspol einer Batterie zum (negativen) Minuspol fließt?

Die Antwort darauf liegt in einem grundlegenden Irrtum in der Geschichte der Elektrizitätsforschung begründet. Aus verschiedenen Gründen glaubte Benjamin Franklin, der der Natur des elektrischen Stroms auf der Spur war und dazu Phänomene wie Blitze bei Gewittern untersuchte, dass er den Fluss einer »elektrischen Flüssigkeit« von Positiv zu Negativ beobachtet hatte. Er präsentierte diese Theorie 1747.

In Wirklichkeit hatte Franklin einen unglücklichen Fehler begangen, der erst korrigiert wurde, nachdem der Physiker J. J. Thomson seine Entdeckung des Elektrons im Jahre 1897, 150 Jahre später, veröffentlicht hatte. Elektrischer Strom fließt tatsächlich von einem Bereich mit größerer negativer Ladung zu einem anderen Ort der »weniger negativ« ist, also »positiver«. Anders gesagt ist Elektrizität ein Fluss von negativ geladenen Teilchen. In einer Batterie kommen diese vom negativen Pol und fließen zum positiven Pol.

Man könnte daher vermuten, dass Franklins Vorstellung des Flusses von positiv zu negativ allgemein aufgegeben wurde, als diese Tatsache bekannt wurde. Aber wenn sich ein Elektron durch einen Draht bewegt, kann man es sich immer noch so vorstellen, als flösse eine gleich große positive Ladung in die Gegenrichtung. Wenn das Elektron sein Zuhause verlässt, nimmt es eine kleine negative Ladung mit, also wird sein ehemaliges Zuhause etwas positiver. Wenn das Elektron an seinem Ziel ankommt, wird durch seine negative Ladung das Ziel etwas weniger positiv. Genau das würde auch passieren, wenn ein imaginäres positives Teilchen in die Gegenrichtung reisen würde. Nicht nur das, auch die ganze Mathematik, die elektrisches Verhalten beschreibt, gilt immer noch, wenn man sie auf den imaginären Fluss positiver Ladungen anwendet.

Aus Gründen der wissenschaftlichen Tradition und Zweckmäßigkeit halten wir uns immer noch an Benjamin Franklins fehlerhaftes Konzept des Flusses von positiv zu negativ, weil es wirklich keinen Unterschied macht. Die Symbole für Bauteile wie Dioden und Transistoren enthalten sogar Pfeile, die dir zeigen sollen, wie diese Teile verschaltet werden – und diese Pfeile zeigen alle von positiv zu negativ, auch wenn dies der tatsächlichen Funktion komplett widerspricht! Die meisten Blitze schlagen ein, wenn eine negative Ladung in den Wolken sich entlädt, um eine positive Ladung am Boden zu neutralisieren. Ben Franklin wäre von der Entdeckung überrascht gewesen, dass es dennoch auch einige Blitzarten gibt, bei denen es sich tatsächlich um einen Fluss von negativ geladenen Elektronen von der Erdoberfläche in die positiv geladenen Wolken handelt. Hier eine Tatsache: Jemand, der »vom Blitz getroffen« wird, kann dadurch verletzt werden, dass er Elektronen abgibt, anstelle sie zu erhalten, wie Abbildung 1-75 zeigt.

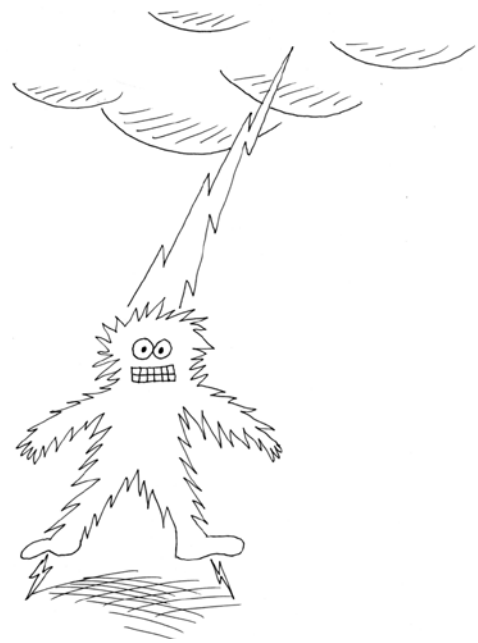


Abbildung 1-75. *Unter bestimmten Wetterbedingungen kann der Fluss der Elektronen bei einem Blitzeinschlag vom Erdboden ausgehend durch deine Beine, aus deinem Kopf und nach oben in die Wolken abfließen. Benjamin Franklin wäre sicher überrascht gewesen.*

THEORIE

Grundlegende Messungen

Man misst das elektrische Potential, indem man die Ladungen der einzelnen Elektronen zusammenzählt. Die Grundeinheit heißt Coulomb und entspricht einer Ladung von etwa 6.250.000.000.000.000.000 Elektronen.

Wenn man weiß, wie viele Elektronen sich pro Sekunde durch ein Stück Draht bewegen, ergibt das den Stromfluss, der in Ampere angegeben wird. Man kann 1 Ampere auch als 1 Coulomb pro Sekunde definieren. Daher gilt:

1 Ampere = 1 Coulomb/Sekunde

= ca. 6,25 Trillionen Elektronen/Sekunde

Es besteht keine Möglichkeit, die Anzahl der Elektronen, die durch einen Leiter strömen zu »sehen« (Abbildung 1-76), aber es gibt indirekte Methoden, an diese Information zu gelangen. Beispielsweise erzeugt ein Elektron eine Welle elektromagnetischer Kraft um einen Draht, während es hindurchfließt. Diese Kraft kann gemessen werden und wir können daraus die Stromstärke berechnen. Der Stromzähler des Energieversorgers bei dir zu Hause funktioniert nach diesem Prinzip.

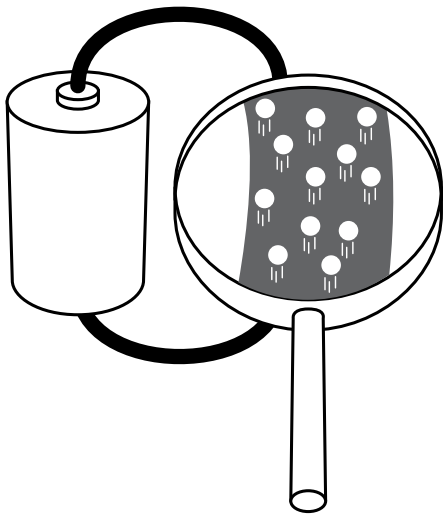


Abbildung 1-76. *Wenn du mit einem ausreichend starken Vergrößerungsgerät in einen Draht hineinschauen könntest und in diesem Draht gerade ein Elektronenfluss von 1 Ampere vorliegen würde, könntest du vermutlich ca. 6,25 Trillionen Elektronen pro Sekunde vorbeirasen sehen.*

Wenn Elektronen sich einfach nur frei bewegen, bewältigen sie keine Arbeit. Wenn du einen Drahtring ohne Widerstand hättest und darin irgendwie einen Fluß von Elektronen auslösen könntest, würden sie einfach bis in alle Ewigkeit herumsausen. (Dies geschieht in einem Supraleiter, jedenfalls fast.)

Unter alltäglichen Bedingungen hat sogar ein Kupferdraht einen gewissen Widerstand. Die Kraft, die wir brauchen, um die Elektronen hindurchzudrücken, wird »Spannung« genannt, und erzeugt einen Stromfluss, der Hitze erzeugen kann, wie du beim Kurzschließen der Batterie bemerkt hast. (Wenn dein Draht einen Widerstand von Null gehabt hätte, dann hätte der hindurchfließende Strom gar keine Hitze erzeugt.) Wir können diese Hitze direkt nutzen, z.B. in einem Elektroherd, oder auf indirekte Weise, zum Beispiel, um einen Motor anzutreiben. In beiden Fällen verwenden wir die Energie der Elektronen, um Arbeit zu verrichten.

Ein Volt kann als die Menge des Drucks definiert werden, den man braucht, um einen Fluss von 1 Ampere zu erzeugen, der 1 Watt Arbeit verrichtet. Wie bereits definiert wurde, ist 1 Watt = 1 Volt × 1 Ampere. Ursprünglich wurde die Definition aber andersherum formuliert:

1 Volt = 1 Watt/1 Ampere

So geschrieben ist sie sinnvoller, weil ein Watt mit Begriffen ohne elektrischen Bezug definiert werden kann. Falls es dich interessiert, kann man sich rückwärts durch die Einheiten des metrischen Einheitensystems arbeiten:

1 Watt = 1 Joule/Sekunde

1 Joule = eine Kraft von 1 Newton über eine Entfernung von 1 Meter angewandt

1 Newton = die Kraft, die jede Sekunde benötigt wird, um 1 Kilogramm um 1 Meter pro Sekunde zu beschleunigen.

Auf dieser Grundlage können alle elektrischen Einheiten auf die Beobachtungen von Masse, Zeit und Elektronenladung zurückgeführt werden.

In der Praxis

Im Alltag kann ein intuitives Verständnis der Elektrizität wichter sein als die Theorie. Ich mag persönlich die Analogien zum Wasser, die seit Jahrzehnten in Einführungen in die Elektrizität benutzt werden. Abbildung 1-77 zeigt einen großen halbvollen Wassertank, der am unteren Ende ein Loch hat. Du kannst dir den Tank wie eine Batterie vorstellen. Die Höhe des Wasserspiegels kann mit der Spannung verglichen werden. Die Menge an Wasser, die pro Sekunde durch das Loch abfließt, kann mit der Stromstärke verglichen werden. Die Größe des Loches wäre dann der Widerstand. Siehe Abbildung 1-79 auf der nächsten Seite.

Wo wäre bei dieser Analogie die Leistung? Stell dir vor, wir bringen ein Wasserrad so an, dass das Wasser aus dem Loch darüber fließt. An das Wasserrad können wir irgend eine Maschine anschließen. Jetzt verrichtet das fließende Wasser eine Leistung. Erinnere dich an dieser Stelle daran, dass Watt eine Einheit für Leistung darstellt.

Das sieht vielleicht zunächst so aus, als ob wir hier etwas umsonst bekommen, indem wir das Wasserrad eine Arbeit erledigen lassen, ohne Energie zurück ins System zu stecken. Du darfst dabei aber nicht vergessen, dass der Wasserspiegel im Tank sinkt. Wenn ich ein paar Helfer hinzufüge, die das Abwasser wieder oben in den Tank einfüllen (wie in Abbildung 1-78), erkennst du, dass man Arbeit hineinstecken muss, um Leistung herauszubekommen.

In gleicher Weise entsteht möglicherweise der Eindruck, dass eine Batterie Energie abgibt, ohne etwas dafür zu erhalten. Jedoch wandeln die chemischen Reaktionen im Inneren reine Metalle zu Metallverbindungen um. Die Energie, die wir der Batterie entnehmen, wird durch diese Zustandsänderung ermöglicht. Wenn es sich um einen Akku handelt, müssen wir wieder Energie hineinstecken, um die chemischen Reaktionen umzukehren.

Um nochmal auf den Wassertank zurückzukommen: Stell dir vor, dass wir nicht genug Energie herausbekommen, um das Wasserrad zu drehen. Eine Lösung könnte dann darin bestehen, mehr Wasser hinzuzugeben. Die Höhe des Wasserspiegels erzeugt eine stärkere Kraft. Das wäre dasselbe, als wenn man zwei Batterien hintereinander, positiv an negativ, in Reihe schalten würde, um die Spannung zu verdoppeln. Siehe Abbildung 1-80. Solange der Widerstand im Stromkreis gleich bleibt, erzeugt eine höhere Spannung auch eine größere Stromstärke, da Stromstärke = Spannung/Widerstand ist.

Was ist, wenn wir zwei Wasserräder anstelle von einem laufen lassen wollen? Wir können ein zweites Loch in den Tank bohren, und die Kraft (Spannung) wird auf beide gleich stark wirken. Der Wasserspiegel im Tank wird aber doppelt so schnell fallen. Es wäre wirklich besser einen zweiten Tank zu bauen, und hier stimmt die Analogie zur Batterie ebenfalls. Wenn du zwei Batterien nebeneinander, also parallel, verbindest, erhältst du dieselbe Spannung, aber für die doppelte Zeit. Die zwei Batterien können vielleicht auch mehr Strom liefern als nur eine. Siehe Abbildung 1-81.

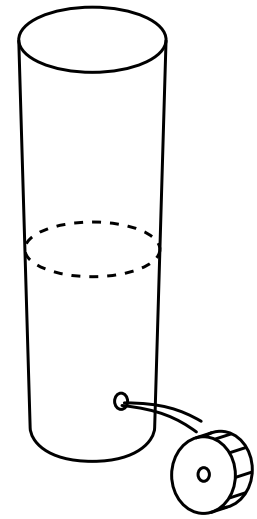


Abbildung 1-77. *Wenn du aus einem System Arbeit herausbekommen willst...*

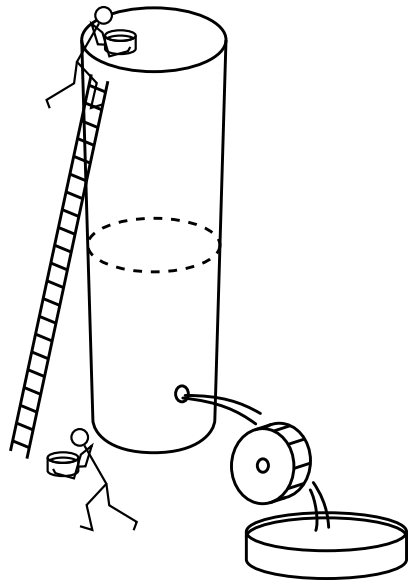


Abbildung 1-78. *... musst du auch irgendwie wieder Arbeit hineinstecken.*

Wir fassen zusammen:

- Zwei Batterien in Reihenschaltung liefern die doppelte Spannung.
- Zwei Batterien in Parallelschaltung können die doppelte Stromstärke liefern.

Okay, das ist im Moment genug Theorie. Im nächsten Kapitel machen wir mit einigen Experimenten weiter, die auf dem Grundwissen über die Elektrizität aufbauen. Darüber kommen wir dann nach und nach zu spaßigen und brauchbaren Gadgets.

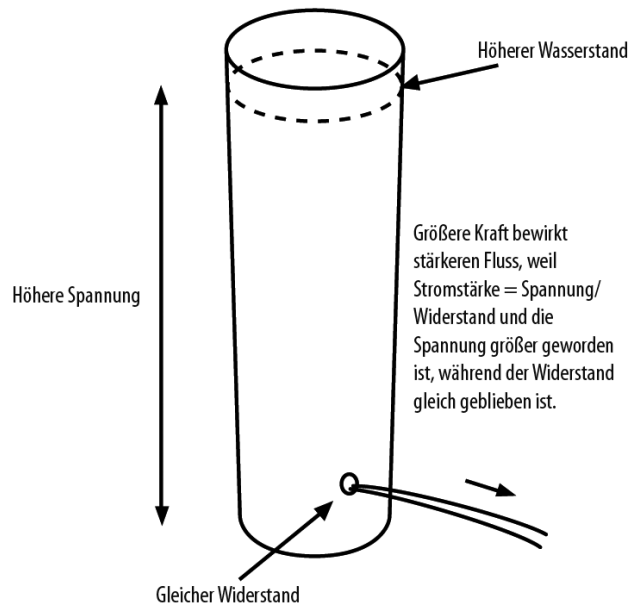


Abbildung 1-79. *Eine größere Kraft erzeugt auch einen stärkeren Fluss, solange der Widerstand gleich bleibt.*

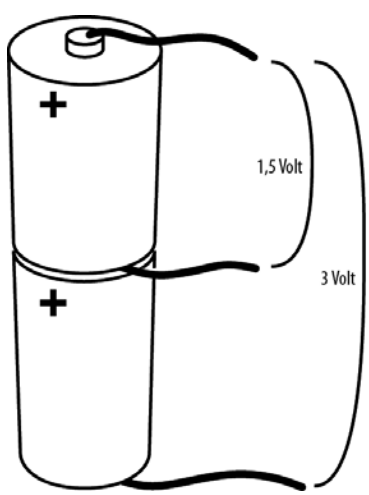


Abbildung 1-80. *Wenn du zwei gleiche Batterien in Reihe schaltest, verdoppelst du die Spannung.*

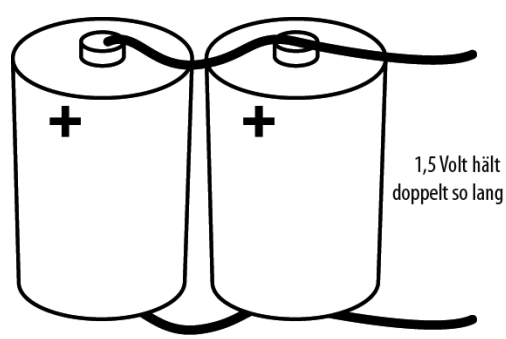


Abbildung 1-81. *Zwei gleiche Batterien in Parallelschaltung liefern dieselbe Spannung, aber doppelt so lange wie nur eine.*

Grundlagen des Schaltens und mehr

2

Ein grundlegendes Konzept der Elektronik ist das Schalten, und das meine ich nicht nur im Sinne von Lichtschaltern. Mit dem Wort »schalten« meine ich, dass man elektrischen Strom dazu benutzt, einen anderen Strom zu schalten oder zu steuern. Dieses Prinzip ist so wichtig, dass kein digitales Gerät ohne diese Funktion existieren könnte.

Heutzutage schaltet man hauptsächlich mit Halbleitern. Bevor ich mich damit beschäftige, gehe ich aber erst einmal einen Schritt zurück und verdeutliche das Prinzip, indem ich dir Relais zeige, die einfacher zu verstehen sind, weil man sehen kann, was im Inneren passiert. Und bevor wir zu Relais kommen, geht es um ganz alltägliche Ein-/Ausschalter. Das sieht sicher sehr leicht aus, aber wir müssen eben die Grundlagen sicher beherrschen.

In diesem Kapitel geht es außerdem um Kapazität, weil Kapazität und Widerstand von grundlegender Bedeutung für elektronische Schaltungen sind. Am Ende des Kapitels solltest du über ein Grundwissen der Elektronik verfügen und in der Lage sein, den krachmachenden Teil eines einfachen Einbruchalarms zu bauen. Das wird dann deine erste Schaltung, die tatsächlich einen Nutzen hat!

IN DIESEM KAPITEL

Einkaufszettel: Experimente 6 bis 11

Experiment 6: Ganz einfaches Schalten

Experiment 7: LED mit einem Relais schalten

Experiment 8: Ein Relais-Oszillator

Experiment 9: Zeit und Kondensatoren

Experiment 10: Transistor-Schalter

Experiment 11: Ein modulares Projekt

Einkaufszettel: Experimente 6 bis 11

Genau wie beim vorherigen Einkaufszettel solltest du in verschiedenen Online-Shops die Verfügbarkeit und Preise der Bauteile und Werkzeuge nachsehen. Die Hersteller verkaufen kleine Bestellmengen nur selten direkt.

Geräte

- Universalnetzteil, 3 bis 12 Volt bei 1 A (1000 mA). Siehe Abbildung 2-1.
- Steckbrett für ICs. Anzahl: 1. Siehe Abbildungen 2-2 und 2-3. Ein Steckbrett mit Schraubanschlüssen an der Seite vereinfacht den Gebrauch, ist aber auch teurer als eines ohne Anschlüsse.

Abbildung 2-1. *Dieses Steckernetzteil liefert eine Gleichspannung zwischen 3 und 12 Volt und ist ideal für Elektronikprojekte.*

Abbildung 2-2. *Dieses »Steckbrett«, auf dem man schnell elektronische Schaltungen aufbauen kann, hat eine Metallplatte und Klemmschrauben, um die Drähte einer Stromquelle anzuschließen.*

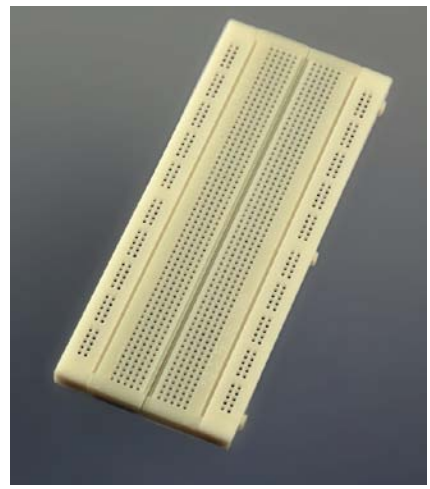


Abbildung 2-3. *Ein Steckbrett ohne Klemmschrauben ist fast genauso praktisch und auch billiger.*

Werkzeuge

Abisolierzange

Siehe Abbildung 2-4.

Siehe Abbildung 2-5.

Abbildung 2-4. *Bei dieser Abisolierzange legst du ein Stück isolierten Draht in das Loch mit der passenden Größe zwischen die Backen, drückst den Griff zusammen und ziehst das Stück Isolierung ab. Siehe Seite 45.*

Abbildung 2-5. *Diese automatische Abisolierzange kann mit nur einer Hand bedient werden, eignet sich aber nicht besonders für dünne Drähte. Sie sind in Deutschland nicht sonderlich verbreitet. Siehe Seite 44.*

Verbrauchsmaterial

Schaltdraht

0,5 mm Innendurchmesser, mindestens 10 Meter von jeder Farbe. Siehe Abbildung 2-6.

Es passiert schnell, dass man den falschen Draht kauft. Du brauchst starren Draht, der unter der Isolierung nur einen Leiter hat, keine Litze, die über viele dünne Leitungen verfügt. Siehe Abbildungen 2-7 und 2-8.

Du wirst Drähte in kleine Löcher in einem »Steckbrett« stecken und das ist mit Litzen nicht möglich. Du bekommst auch Probleme, wenn du Draht kaufst, der mehr als 0,6 mm Durchmesser hat.

Für etwas mehr Geld bekommst du auch ein Sortiment mit gebrauchsfertig vorgeschnittenen Drahtstücken mit abisolierten Enden. Siehe Abbildung 2-9.

Abbildung 2-6. *Wenn du Schaltdraht mit verschiedenfarbiger Isolation benutzt, kannst du die Drähte in deinen Schaltungen leichter unterscheiden.*

Verbindungskabel

Verbindungskabel sind nicht zwingend notwendig, aber sehr praktisch. Du brauchst keine Audio- oder Videokabel, die an jedem Ende einen Stecker haben, sondern Kabel mit Krokodilklemmen an beiden Enden, die du z.T. auch unter »Messleitungen« findest. Siehe Abbildung 2-10.

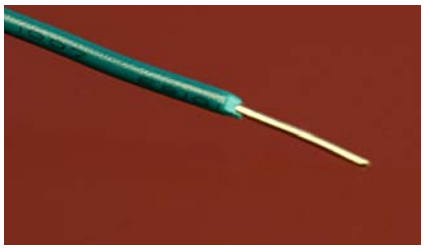


Abbildung 2-7. *Starrer Draht mit 0,5 oder 0,6 mm Innendurchmesser eignet sich für fast alle Experimente in diesem Kapitel.*

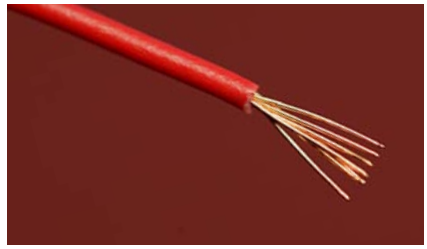


Abbildung 2-8. *Litze ist flexibler, lässt sich aber nicht so gut mit Steckbrettern verwenden.*

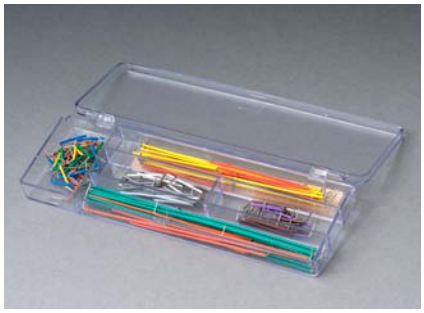


Abbildung 2-9. *Fertige Drahtbrücken mit blanken Enden sparen eine Menge Zeit und Arbeit, kosten aber auch etwas mehr.*

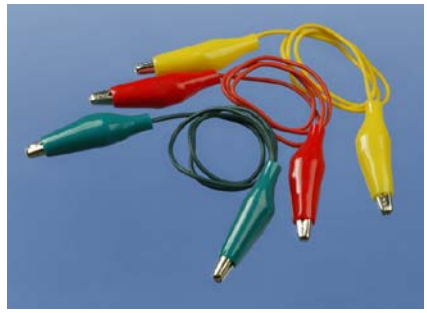


Abbildung 2-10. *Verbindungskabel, auch Messleitungen genannt, bestehen aus Kabeln mit fest angebrachten Krokodilklemmen. Das ist ein weiterer kleiner Luxus, der Elektronik als Hobby stressfreier machen kann.*

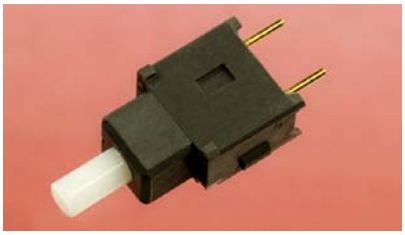


Abbildung 2-11. *Die Anschlüsse dieses Mini-Tasters haben einen Abstand von 5 mm und sind damit ideal für das »Steckbrett«, das du benutzen wirst.*

Abbildung 2-12. *Dieser relativ große Kippschalter der Firma NKK hat Schraubanschlüsse, wodurch er sich sehr einfach an den Schaltdraht anschließen lässt.*

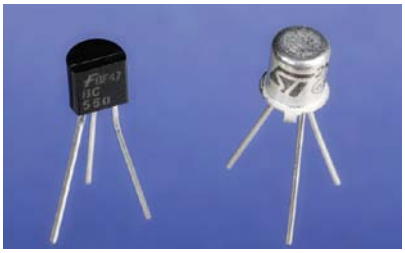


Abbildung 2-13. *Transistoren werden normalerweise entweder in kleinen Metalldöschen oder in kleinen Plastikblöcken verkauft. Für unsere Zwecke ist das Gehäuse nicht entscheidend.*

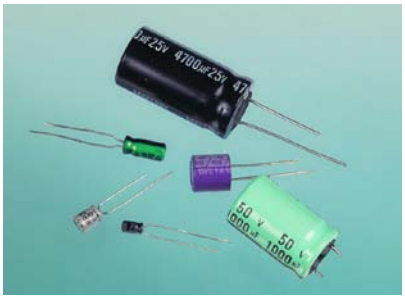


Abbildung 2-14. *Verschiedene Elektrolyt-Kondensatoren*

Bauteile

Taster

Einpolig, Schließer, auch z.T. als Aus-(Ein) oder (Ein)-Aus bezeichnet. Muss für Printmontage geeignet sein, d.h. er ist sehr klein mit dünnen spitzen Kontakten an der Unterseite. Anzahl: 1. Siehe Abbildung 2-11.

Wenn du die Auswahl hast, kaufe den billigsten, da wir nur sehr kleine Ströme schalten werden.

Schalter

Kippschalter, Ein/Ein, einpoliger Umschalter (SPDT), Menge: 2. Siehe Abbildung 2-12.

ist ideal; er hat Schraubanschlüsse, so dass man keine Krokodilklemmen braucht.

Wir schalten keine großen Ströme oder hohen Spannung, also ist es nicht wichtig, welche Art Schalter es genau ist. Bei größeren Schaltern haben aber die Anschlüsse einen größeren Abstand, so dass man einfacher damit arbeiten kann.

Relais

Zwei Wechsler, ohne Einrasten, 12 V Wechselspannung (DC). Anzahl: 2

Es ist wichtig, das richtige Relais zu kaufen. Es muss so aufgebaut sein wie auf den Bildern, die ich benutzen werde. Suche nach den Artikeln FTR-F1CA012V oder FTR-F1CD012V von Fujitsu, G2RL-24-DC12 von Omron oder OMI-SH-212D von Tyco. Vermeide Ersatztypen.

Potentiometer

Lineares Potentiometer mit 1 Megaohm

Transistoren

Allzweck-NPN-Transistor, z.B. 2N2222 von STMicroelectronics. Anzahl: 4. Siehe Abbildung 2-13.

2N6027 Programmierbarer Unijunctiontransistor, hergestellt von On Semiconductor oder Motorola. Anzahl: 4.

Kondensatoren

Elektrolyt-Kondensatoren, Sortiment. Sie sollten für minimal 25 Volt ausgelegt sein und mindestens einen Kondensator mit 1000 µF (Mikrofarad) enthalten. Wenn du bei eBay suchst, achte darauf, dass es Elektrolyt-Kondensatoren (Elkos) sind. Es ist kein Problem, wenn sie für höhere Spannungen ausgelegt sind, auch wenn sie dann mehr Platz beanspruchen als nötig. Siehe Abbildung 2-14.

Keramische Kondensatoren, Sortiment. Achte darauf, dass du mindestens einen mit 0,0047 µF bekommst (was auch als 47 nF geschrieben werden kann). Siehe Abbildung 2-15.

Widerstände

Wenn du für die Experimente 1 bis 5 nur eine minimale Auswahl gekauft hast, ist es jetzt angebracht, ein größeres Sortiment zu erwerben, damit du nicht irgendwann aufgehalten wirst, weil dir genau ein Wert fehlt. Minimal 1/4 Watt.

Lautsprecher

Irgend ein 1-Zoll-Miniaturlautsprecher mit 8 Ω, z.B. Siehe Abbildung 2-16.

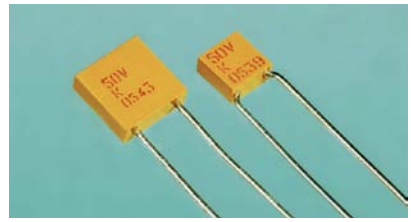


Abbildung 2-15. *Keramische Kondensatoren sehen oft so aus, auch wenn viele nicht eckig, sondern rund oder treppenförmig sind. Die Form der Kapsel ist für uns nicht wichtig.*

Experiment 6: Ganz einfaches Schalten

Dafür brauchst du:

- Mignon-Batterien. Anzahl: 4.
- Batteriehalter für 4 Mignonbatterien. Anzahl: 1.
- LED. Anzahl: 1.
- Umschalter, einpolig. Anzahl: 2. Siehe Abbildung 2-12.
- Einen Widerstand mit 220 Ω oder ähnlich, mindestens 1/4 Watt. Anzahl: 1.
- Krokodilklemmen. Anzahl: 8.
- Draht oder Verbindungskabel. Siehe Abbildung 2-10, wie bereits gezeigt.
- Drahtschneider und Abisolierzange, wenn du keine Verbindungskabel benutzt. Siehe Abbildung 2-4, wie bereits gezeigt.

Abbildung 2-16. *Dieser Mini-Lautsprecher hat einen Durchmesser von etwa einem Zoll (rund 2,5 cm) und kann für die Audioausgabe von Transistorschaltungen verwendet werden.*

Im Experiment 3 hast du eine LED zum Leuchten gebracht, indem du sie an eine Batterie angeschlossen hast. Du hast sie abgeschaltet, indem du die Batterie entfernt hast. Damit man sie besser bedienen kann, sollten unsere Schaltungen einen vernünftigen Schalter haben, um sie ein- und auszuschalten. Da wir uns gerade mit dem Thema beschäftigen, erkläre ich auch alle Arten von Schaltern, um anhand einer Schaltung einige Möglichkeiten aufzuzeigen.

Verschalte alle Teile, so wie in Abbildung 2-17 und 2-18 gezeigt. Das längere Beinchen der LED muss an den Widerstand angeschlossen werden, weil es die positivere Seite der Schaltung ist.

Du hast sicher gemerkt, dass du auch einige Drahtstücke brauchst. Ich schlage vor, grün isolierten Draht zu nehmen, damit du daran denkst, dass diese Abschnitte nicht direkt mit dem positiven oder negativen Teil der Stromquelle verbunden sind. Du kannst aber auch jede andere Farbe nehmen. Statt der Drähte kannst du auch Verbindungskabel benutzen, falls du welche hast. So oder so ist es wichtig, dass du lernst, wie man die Isolierung von Drähten entfernt, also beschäftigen wir uns jetzt damit.

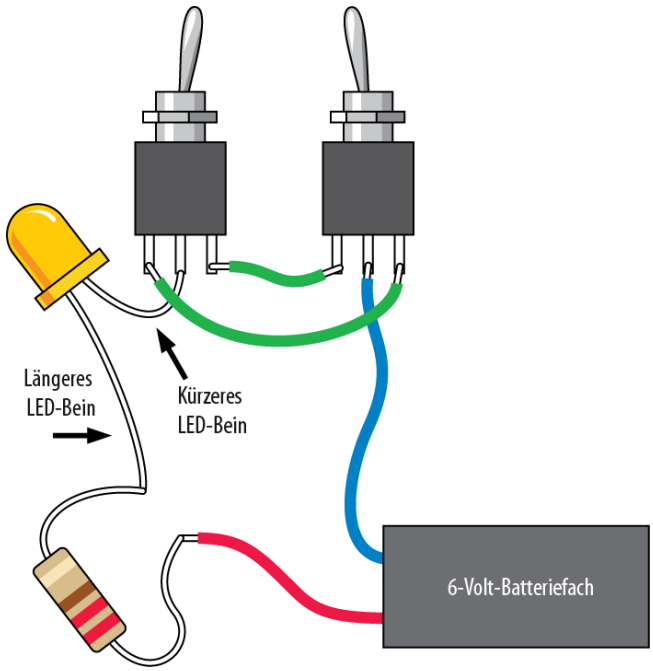


Abbildung 2-17. *Wenn die LED eingeschaltet ist, geht sie aus, wenn einer der beiden Schalter umgelegt wird. Wenn die LED ausgeschaltet ist, geht sie an, wenn einer der beiden Schalter umgelegt wird. Mit Krokodilklemmen kannst du die Drähte verbinden, auch mit den Schaltern, falls diese keine Schraubanschlüsse haben. Pass auf, dass sich die Klemmen nicht berühren.*

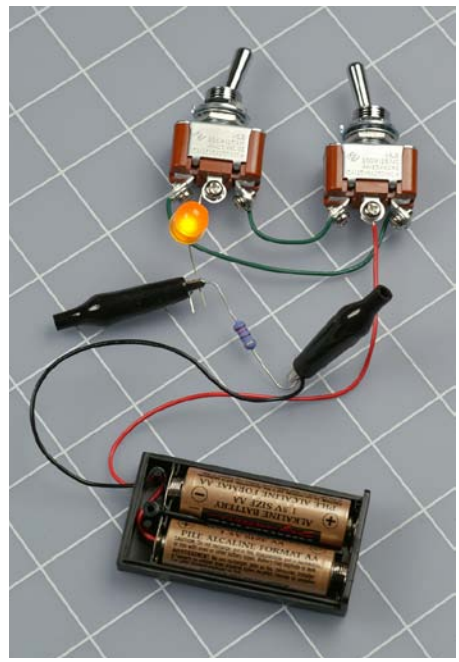


Abbildung 2-18. *Große Kippschalter mit Schraubanschlüssen erleichtern die Verkabelung dieser einfachen Schaltung.*

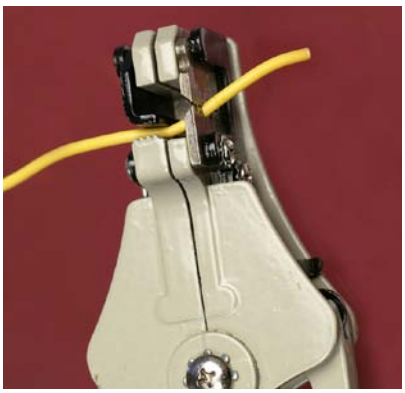
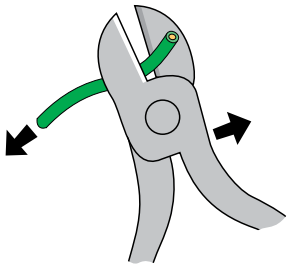


Abbildung 2-19. *Wenn du bei einer automatischen Abisolierzange den Griff zusammendrückst, halten die Backen links den Draht fest und die scharfe Einkerbung rechts drückt sich in die Isolierung. Wenn du fester drückst, öffnet sich die Zange und zieht die Isolierung vom Draht ab.*

Werkzeuge

Wenn du einen einfachen Seitenschneider benutzt, halte den Draht in einer Hand und das Werkzeug in der anderen Hand. Drücke dabei die Zange mit mäßiger Kraft zusammen – genug, um die Isolierung anzuritzen, aber nicht so viel, dass du den Draht abkneifst. Ziehe den Draht nach unten weg und bewege die Zange nach oben. Mit etwas Übung kannst du so die Isolierung am Ende des Drahts abziehen.

Macho-Hardwarenerds können auch ihre Zähne benutzen, um Drähte abzuisolieren. Als ich noch jünger war, habe ich das auch so gemacht. Ich habe zwei leicht abgesplitterte Zähne, um es zu beweisen. Es ist wirklich besser, das richtige Werkzeug für eine Aufgabe zu benutzen.



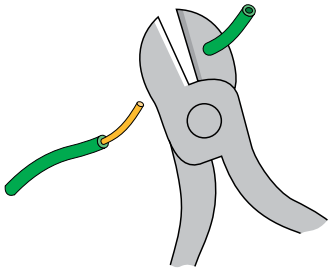


Abbildung 2-20. *Um die Isolierung am Ende eines dünnen Drahts zu entfernen, kannst du auch einen Drahtschneider benutzen. Das erfordert ein wenig Übung.*

Abbildung 2-21. *Wer seine Werkzeuge verlegt und zu ungeduldig ist, um sie zu suchen, könnte versuchen, den Draht mit seinen Zähnen abzuisolieren. Das ist eher keine gute Idee.*

Verbindungsprobleme

Je nachdem, wie klein die Schalter sind, die du benutzt, hast du möglicherweise Probleme, alle Krokodilklemmen zum Verbinden mit den Drähten anzubringen. Miniaturschalter, die heutzutage einfacher zu bekommen sind als größere Modelle, können dabei besonders problematisch sein (siehe Abbildung 2-22). Sei geduldig: Bald benutzten wir Steckbretter und kommen fast ohne Krokodilklemmen aus.

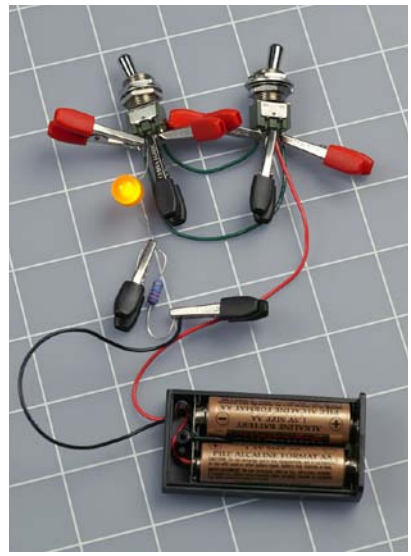


Abbildung 2-22. *Man kann auch kleine Kippschalter verwenden, am besten mit Mini-Krokodilklemmen. Achte aber auf Kurzschlüsse.*

Ausprobieren

Achte darauf, dass du die LED mit dem längeren Beinchen an die positive Seite der Stromquelle angeschlossen hast (in diesem Fall über den Widerstand). Jetzt lege einen der Schalter um. Wenn die LED eingeschaltet war, wird sie ausgehen, und wenn sie aus war, wird sie angehen. Wenn du den anderen Schalter umlegst, passiert dasselbe. Wenn die LED gar nicht leuchtet, hast du sie möglicherweise falsch herum verbunden. Eine andere Möglichkeit ist, dass zwei Krokodilklemmen einen Kurzschluss der Batterie verursacht haben.

Wenn wir davon ausgehen, dass die Schalter so funktionieren, wie ich gerade beschrieben habe, was genau geschieht dann? Wir müssen an dieser Stelle mal einige grundlegende Fakten festhalten.

GRUNDLAGEN

Alles über Schalter

Wenn du den Kippschalter aus Experiment 6 umlegst, verbindet er den mittleren Anschluss mit einem der äußeren Anschlüsse. Wenn du ihn zurück schaltest, verbindet er den mittleren Anschluss mit dem anderen äußeren Anschluss, wie man in Abbildung 2-23 sieht.

Solche Schalter sind einpolig, da sie genau eine elektrische Verbindung schalten können. Da man mit diesem Schalter zwischen zwei möglichen Verbindungen wechseln kann, werden sie Umschalter oder Wechselschalter genannt. Einpolige Wechsler werden in (englischsprachigen) Anleitungen auch oft als »SPDT« bezeichnet (single pole, double throw).

Manche Schalter sind Ein-/Ausschalter, was bedeutet, dass sie in der einen Stellung einen Kontakt herstellen und in der anderen Stellung nicht. Fast alle Lichtschalter bei dir zuhause funktionieren so. Einpolige Einschalter werden als »SPST« bezeichnet (single pole, single throw).

Andere Schalter haben zwei vollständig voneinander getrennte Pole, so dass man damit gleichzeitig zwei getrennte Verbindungen herstellen kann. Das sind zweipolige Schalter. Sieh dir die Fotos von altmodischen Messerschaltern in den Abbildungen 2-24 bis 2-46 an (diese Schalter benutzt man immer noch in Schulen, um Kindern die Elektronik beizubringen). Das sind die einfachsten Darstellungen von ein- und zweipoligen Schaltern sowie Ein- und Umschaltern. Verschiedene Kippschalter, deren Kontakte im Inneren der Gehäuse liegen, sind in Abbildung 2-27 zu sehen.

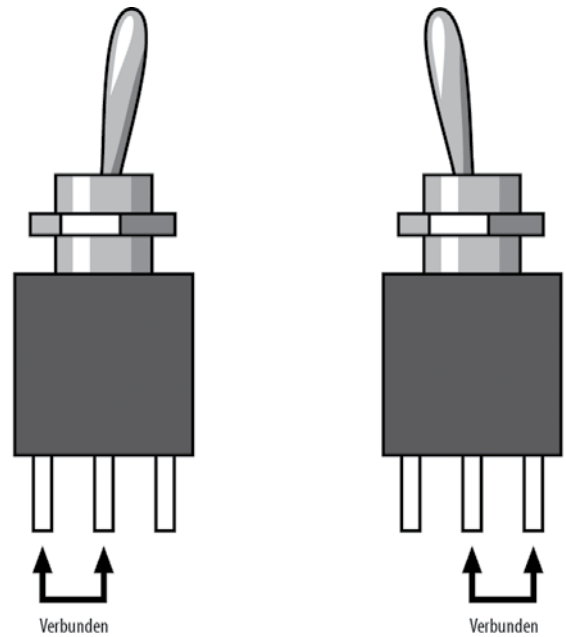


Abbildung 2-23. *Der mittlere Anschluss des Schalters wird entweder mit dem einen oder anderen Anschluss verbunden, je nachdem wie der Schalter steht.*

Abbildung 2-24. *Dieser primitiv aussehende einpolige Umschalter macht genau dasselbe wie die Kippschalter in den Abbildungen 2-23 und 2-27.*

Abbildung 2-25. *Ein einpoliger Schalter stellt nur eine einzige Verbindung her. Seine zwei Zustände sind einfach geöffnet oder geschlossen, ein oder aus.*

Abbildung 2-26. *Ein zweipoliger Schalter schließt zwei unabhängige Ein-/Aus-Verbindungen.*

GRUNDLAGEN

Alles über Schalter (Fortsetzung)

Abbildung 2-27. *Hier sind nur Kippschalter abgebildet. In der Regel gilt: Je größer der Schalter, desto mehr Strom kann er schalten.*

Es wird noch besser: Man kann auch drei- oder vierpolige Schalter kaufen. (Es gibt Drehschalter, die sogar noch mehr Pole haben, aber solche werden wir nicht einsetzen.) Außerdem haben einige Umschalter auch eine zusätzliche Mittelstellung, bei der kein Kontakt geschlossen wird. Ich habe daraus eine Tabelle aller möglichen Schaltertypen zusammengestellt (Abbildung 2-28). Beim Lesen eines Katalogs mit Bauteilen kannst du hier bei Bedarf also noch einmal nachlesen, was die englischen Abkürzungen bedeuten.

Aber was ist mit Tastern? Wenn du an einer Tür klingelst, schließt du einen elektrischen Kontakt, also ist das auch eine Art Schalter, der für kurze Zeit eine Verbindung herstellt. Man bezeichnet alle Schalter und Knöpfe, die durch eine Feder in ihren Ursprungszustand zurückspringen, als Taster oder Tasten. Man kann diesen Momentanzustand angeben, indem man ihn in Klammern schreibt. Hier sind einige Beispiele.

	einpolig	zweipolig	3-polig	4-polig
Einschalter	SPST an-aus	DPST an-aus	3PST an-aus	4PST an-aus
Umschalter	SPST an-an	DPST an-an	3PST an-an	4PST an-an
Umschalter mit Aus-Stellung in der Mitte	SPST an-aus-an	DPST an-aus-an	3PST an-aus-an	4PST an-aus-an

Abbildung 2-28. *Diese Tabelle fasst alle Bauformen für Schalter und Taster zusammen.*

- Aus-(Ein): Da der Ein-Zustand in Klammern steht, ist es der vorübergehende Zustand. Also ist das ein einpoliger Schalter, der nur den Kontakt herstellt, wenn man ihn drückt, und der zurückspringt und den Kontakt unterbricht, wenn du ihn loslässt. Sie werden daher »Schließer« genannt. Im Englischen schreibt man dafür auch kurz »NO.« für »normally open«.
- Ein-(Aus): Dieser Taster funktioniert genau anders herum. Er ist normalerweise eingeschaltet, unterbricht aber die Verbindung, wenn man ihn drückt. Also ist der Aus-Zustand nur vorübergehend. Solche Taster sind »Öffner«, im Englischen »NC.« für »normally closed«.
- (Ein)-Aus-(Ein): Dieser Schalter hat eine Mittelstellung ohne Verbindung. Wenn man ihn in eine der beiden Richtungen drückt, stellt er vorübergehend einen Kontakt her und kehrt wieder zur Mitte zurück, wenn man ihn loslässt.

Es gibt noch andere Möglichkeiten als Ein-Aus-(Ein) oder Ein-(Ein). Wenn du dir merkst, dass die Klammern den vorübergehenden Zustand angeben, solltest du immer herausfinden können, was für ein Schalter oder Taster es ist.

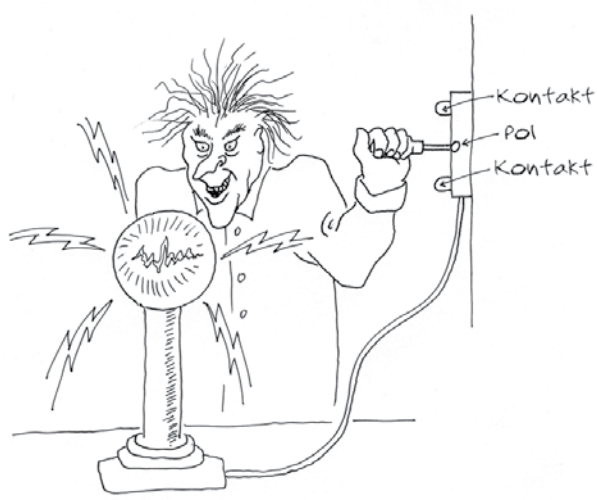


Abbildung 2-29. *Dieser böse, verrückte Wissenschaftler wird gleich sein Experiment unter Strom setzen. Dafür benutzt er einen einpoligen Wechselschalter, der sich praktischerweise an der Wand seines unterirdischen Labors befindet.*

GRUNDLAGEN

Alles über Schalter (Fortsetzung)

Funkenschlag

Wenn du eine elektrische Verbindung herstellst oder trennst, kann ein Funken entstehen. Solche Funken oder Lichtbögen sind für die Kontakte nicht gut. Sie nagen an den Kontakten, bis der Schalter keine verlässliche Verbindung mehr herstellen kann. Daher musst du immer einen Schalter benutzen, der für die gebrauchte Spannung und Stromstärke ausgelegt ist. Elektronische Schaltkreise laufen normalerweise mit niedrigen Spannungen und geringen Strömen, so dass man dafür fast jeden Schalter nehmen kann. Wenn du allerdings einen Motor einschaltest, zieht dieser beim Anlaufen einen Stromstoß, der mindestens das Doppelte von dem beträgt, was der Motor im normalen Lauf benötigt. Daher solltest du z.B. einen 4-Ampere-Schalter benutzen, um einen Motor mit 2 Ampere ein- und auszuschalten.

Schalter überprüfen

Mit deinem Multimeter kannst du einen Schalter testen. So kannst du herausfinden, welche Kontakte geschlossen werden, wenn du den Schalter in die eine oder andere Stellung legst. Es ist auch sehr nützlich, wenn du einen Taster hast und nicht mehr weißt, ob es ein Schließer (beim Drücken wird die Verbindung geschlossen) oder ein Öffner (beim Drücken wird die Verbindung unterbrochen) ist. Schalte dein Multimeter auf Widerstandsmessung (Ohm) und halte die Messspitzen an die Anschlüsse des Schalters, während du ihn bedienst. Das ist aber umständlich, weil du immer warten musst, bis das Multimeter eine genaue Messung liefert. Wenn du nur herausfinden willst, ob es eine Verbindung gibt, kannst du die »Durchgangsprüfung« benutzen. Dabei gibt das Multimeter einen Signalton ab, wenn eine Verbindung besteht und bleibt still, wenn nicht. Siehe die Abbildungen 2-30 bis 2-32 für Beispiele von Multimetern, die auf Durchgangsprüfung gestellt sind. Abbildung 2-33 zeigt als Beispiel, wie ein Kippschalter auf Verbindung geprüft wird.

Benutze die Funktion deines Multimeters zur Durchgangsprüfung nur in Schaltungen oder für Bauteile, an denen in diesem Moment kein Strom anliegt.

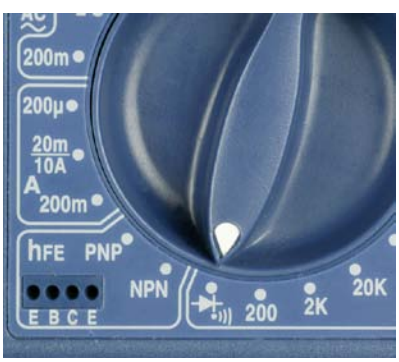


Abbildung 2-30

Abbildung 2-31

Abbildung 2-32. *Um eine Durchgangsprüfung in einer Schaltung zu machen, stellst du dein Multimeter auf die abgebildete Stellung. Benutze diese Funktion nur, wenn kein Strom am getesteten Bauteil oder der Schaltung anliegt.*

Abbildung 2-33. *Wenn der Schalter eine Verbindung zwischen zwei seiner Anschlüsse herstellt, zeigt das Multimeter bei der Durchgangsprüfung einen Widerstand von Null und gibt einen Signalton ab.*

HINTERGRUNDWISSEN

Frühe Schaltsysteme

Schalter sind für uns ein grundlegender Teil unserer Umwelt und ihre Funktion ist so einfach, dass man leicht vergisst, dass sie einem stufenweisen Prozess von Entwicklung und Verbesserung entstammen. Einfache Messerschalter waren für die Pioniere der Elektrizität, die einfach nur den Strom zu einem Versuchsaufbau im Labor ein- und ausschalten wollten, vollkommen ausreichend. Ein etwas durchdachterer Ansatz war aber nötig, als Telefonsysteme immer größer wurden.

Die Telefonistin in der Vermittlungsstelle brauchte normalerweise eine Möglichkeit, je zwei von 10.000 Anschlüssen auf der Tafel zu verbinden. Wie kann man das schaffen?

Abbildung 2-34. *Charles E. Scribner erfand den Klappmesserschalter, um die Verschaltung in Telefonsystemen im späten 19. Jahrhundert zu vereinfachen. Die heute noch benutzen Audiostecker funktionieren nach demselben Prinzip.*

Im Jahre 1878 entwickelte Charles E. Scribner (Abbildung 2-34) den »jack-knife switch« (Klappmesserschalter), der so genannt wurde, weil der Teil, den der Telefonist in der Hand hielt, wie der Griff eines Klappmessers aussah. Daraus ragte ein Stecker hervor, der einen Kontakt herstellte, wenn er in eine Buchse gesteckt wurde. Diese Buchse war der Schalter an sich.

Audiostecker an Gitarren und Verstärkern funktionieren immer noch nach demselben Prinzip. Im Englischen werden sie daher auch als »jacks« bezeichnet, was noch auf Scribners Erfindung zurückgeht. In einer Buchse finden sich immer noch Schaltkontakte.

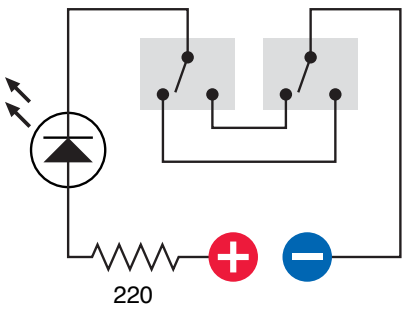


Abbildung 2-35. *Dieses Schaltbild zeigt dieselbe Schaltung wie Abbildung 2-17 und verdeutlicht genauer, wie die Schalter funktionieren.*

Du kannst die großformatige Version des Schaltbildes hier downloaden: http://oreilly.com/catalog/9780596153748.

Einführung in Schaltpläne

In der Abbildung 2-35 habe ich die Schaltung aus Experiment 6 auf vereinfachte Weise nachgezeichnet. Dies nennt man einen »Schaltplan«. Ab sofort werde ich Schaltungen mit Schaltplänen illustrieren, weil damit die Schaltungen einfacher zu verstehen sind. Man muss nur einige Symbole kennen, um sie lesen zu können.

Vergleiche den Schaltplan mit der Zeichnung der Schaltung in der Abbildung 2-17. Beide zeigen genau dasselbe: Bauteile und Verbindungen zwischen diesen. Die grauen Rechtecke sind Schalter, das leere Rechteck ist der Widerstand und das Symbol mit den zwei diagonalen Pfeilen ist die LED.

Das Schaltplansymbol für die LED enthält zwei Pfeile, die anzeigen, dass sie Licht abgibt. Es gibt auch Dioden, die das nicht tun. Dazu kommen wir später. Das Dreieck im Diodensymbol zeigt immer von positiv zu negativ.

Verfolge den Weg, den der Strom durch die Schaltung nimmt und stelle dir vor, dass die Schalter mal in der einen und mal in der anderen Stellung stehen. Dann solltest du deutlich erkennen, warum jeder der beiden Schalter den Zustand der LED von an zu aus oder aus zu an umkehren kann.

Genau diese Schaltung wird auch in Wohnungen benutzt, wo es sowohl am oberen als auch am unteren Ende einer Treppe einen Lichtschalter gibt, die beide dieselbe Lampe schalten. Siehe Abbildung 2-36. Die Kabel sind in einem Haus viel länger und in den Wänden verlegt, aber da die Verbindungen dieselben sind, könnte man diese mit demselben einfachen Schaltplan darstellen.

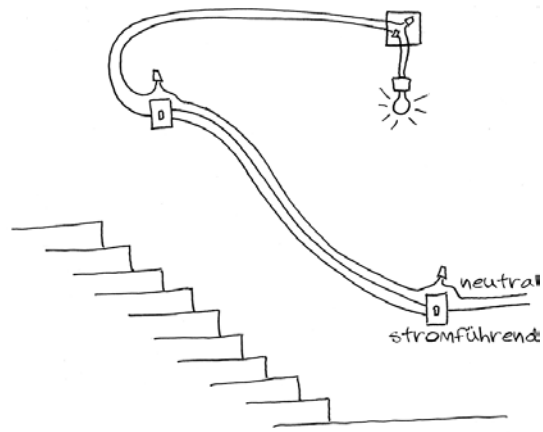


Abbildung 2-36. *Die Schaltung mit zwei Schaltern, die in den Abbildungen 2-17 und 2-35 zu sehen ist, wird oft bei der Hausinstallation verwendet, insbesondere wenn sich Schalter am oberen und am unteren Ende einer Treppe befinden. Diese Zeichnung zeigt, wie es in der Wand aussehen könnte. Die Drähte sind mit Kabelklemmen verbunden, die man von außen nicht sehen kann.*

Ein Schaltplan liefert dir keinen Hinweis darauf, wo genau die Bauteile platziert werden sollen. Er zeigt dir nur, wie sie verbunden werden. Es gibt ein Problem: Unterschiedliche Leute benutzten teilweise unterschiedliche Schaltzeichen für ein und dasselbe Bauteil. Genaueres dazu findest du im kommenden Abschnitt »Grundlagen: Die wichtigsten Schaltzeichen«.

GRUNDLAGEN

Die wichtigsten Schaltzeichen

Schaltzeichen sind wie die Worte einer Sprache: Mit den Jahren sind sie zu einer verwirrenden Menge an Variationen mutiert. Ein einfacher Ein-/Auschalter (einpolig, »SPST«) kann zum Beispiel durch jedes der Symbole in Abbildung 2-37 dargestellt werden. Sie haben alle dieselbe Bedeutung.

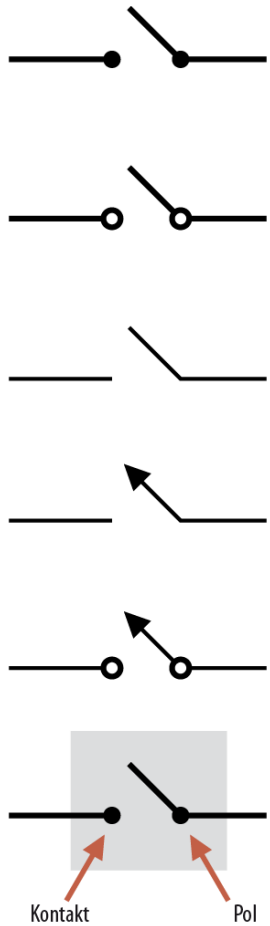


Abbildung 2-37. *Variationen über ein Thema: Das sind nur einige der verschiedenen Stile, um einen einpoligen Schalter in Schaltplänen darzustellen. Die unterste Version wird in diesem Buch verwendet.*

Abbildung 2-38 zeigt zweipolige Umschalter (DPDT). Eine gestrichelte Linie zeigt eine mechanische Verbindung im Inneren des Schalters an, so dass beide Pole gleichzeitig geschaltet werden, wenn der Schalter umgelegt wird. Merke dir, dass die Pole in elektrischer Hinsicht voneinander isoliert sind.

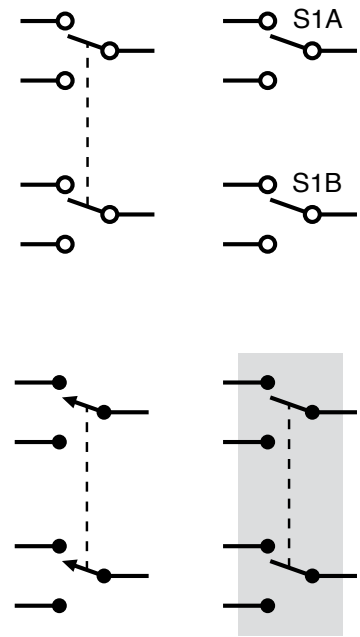


Abbildung 2-38. *Mehr Variationen: Verschiedene Stile, um einen zweipoligen Umschalter darzustellen. Die Form unten rechts wird in diesem Buch benutzt.*

Vielleicht begegnet dir mal ein Schaltplan, in dem die Schalter wild verteilt sind, aber ihre Bezeichnungen (z.B. S1A, S1B, S1C usw.) weisen darauf hin, dass es nur ein einziger Schalter mit mehreren Polen ist.

In den Schaltplänen in diesem Buch werde ich jeden Schalter mit einem grauen Rechteck hinterlegen. Dieses graue Rechteck ist kein Standardzeichen. Du wirst es in anderen Büchern nicht finden. Ich verwende es, um dir anzuzeigen, dass alles innerhalb des Rechtecks auch in einem Gehäuse ist.

Die Art, wie in Schaltplänen dargestellt wird, ob Drähte miteinander verbunden sind, ist eine sehr wichtige Variation. In alten Schaltplänen wurde ein kleiner halbkreisförmiger Höcker in einem Draht gezeichnet, wenn dieser einen anderen Draht kreuzte, ohne eine Verbindung zu schließen. Weil moderne Schaltplansoftware diesen Zeichenstil nicht mehr erzeugt, wird dies kaum noch so gemacht. Der moderne Stil, der dir wahrscheinlich begegnet, wenn du online Schaltpläne anschaust, kann so zusammengefasst werden:

- Ein Punkt, der zwei Drähte vereint, zeigt eine elektrische Verbindung an.
- Kein Punkt zeigt an, dass keine Verbindung vorliegt.

GRUNDLAGEN

Die wichtigsten Schaltzeichen (Fortsetzung)

Das Problem dabei ist, dass es nicht besonders intuitiv ist, ganz besonders, wenn du das erste Mal mit Schaltplänen arbeitest. Wenn du siehst, dass sich zwei Drähte kreuzen, stellst du dir sicher vor, dass sie verbunden sind, auch wenn an der Überkreuzung kein Punkt ist. Daher habe ich mich im Interesse der Verständlichkeit dafür entschieden, den »halbkreisförmigen Höcker« aus alten Schaltplänen in diesem Buch zu verwenden (siehe Abbildung 2-39). Man kann es so zusammenfassen:

- Ein Punkt, der zwei Drähte vereint, zeigt eine elektrische Verbindung an.
- Ein Höcker in einem Draht, der einen anderen Draht kreuzt, zeigt an, dass keine Verbindung vorliegt.

In diesem Buch wirst du keine Drähte sehen, die einander ohne Punkt oder Höcker überkreuzen.

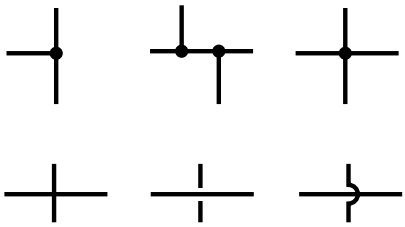


Abbildung 2-39. *In Schaltplänen steht ein Punkt immer für eine elektrische Verbindung. Die kreuzförmige Verbindung von Drähten oben rechts wird aber als schlechter Stil angesehen, weil die Kreuzung mit dem Zeichen unten links verwechselt werden kann (bei dem die Drähte nicht verbunden sind), falls der Punkt versehentlich fehlt oder schlecht gedruckt wurde. Die drei Schaltzeichen in der unteren Reihe zeigen an, dass keine Verbindung besteht. Das erste Zeichen wird meistens verwendet, das in der Mitte nur sehr selten. Das dritte Symbol ist altmodisch, wird aber aus Verständlichkeitsgründen in diesem Buch benutzt.*

In Schaltungen, die von einer Batterie versorgt werden, wird manchmal ein Batteriesymbol verwendet. Sehr viel öfter wird dir aber ein kleiner Hinweis begegnen, an welcher Stelle die positive Spannung in die Schaltung eintritt. Die negative Seite wird dagegen durch ein so genanntes Massesymbol gekennzeichnet. Wahrscheinlich werden sogar überall Massesymbole abgebildet sein. Du musst daran denken, dass du beim Aufbau einer Schaltung alle Drähte, die zur Masse führen, miteinander und mit der negativen Seite (Minuspol) der Spannungsversorgung verbinden musst.

Die Idee hinter dem Massesymbol stammt noch aus der Zeit, als man elektronische Geräte in einem Metallgehäuse montiert hat, das mit dem Minuspol des Netzteils verbunden war. Das Massezeichen bedeutete daher »mit dem Gehäuse verbinden«. In Abbildung 2-40 sind mehrere Varianten des Massesymbols zu sehen.

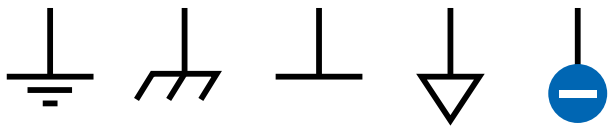


Abbildung 2-40. *Diese Zeichen werden alle benutzt, um dasselbe auszudrücken: Verbinde den Draht mit der »Masse« oder dem Gehäuse oder der negativen Seite der Stromquelle. Das Symbol ganz rechts wird in diesem Buch verwendet.*

Dieses Buch ist durchgehend als Farbdruck konzipiert, also benutze ich eine rotes Plus und ein blaues Minus, um eindeutig zu zeigen, wo elektrischer Strom angeschlossen wird. Ich werde keine Massesymbole benutzen. Der Grund dafür ist auch hier, das Risiko von Missverständnissen zu minimieren, weil ich weiß, wie frustrierend es ist, wenn man eine Schaltung aufbaut, die dann nicht funktioniert.

In Schaltplänen gibt es eine große Uneinheitlichkeit, was die Darstellung von Widerständen betrifft. Das traditionelle Zickzack-Symbol wird in Europa nicht mehr verwendet. Stattdessen gibt es hier ein Rechteck. Die Zahl darin oder daneben zeigt den Wert in Ohm an. Siehe Abbildung 2-41. Auch die Art, wie das Dezimalkomma dargestellt wurde, stammt aus einem europäischen Standard: Es wird soweit es geht, ganz weggelassen, weil in schlecht gedruckten Schaltungen kleine Punkte verloren gehen können (oder mit Staub und Dreck verwechselt werden können). Also wird ein Widerstand mit 4,7 kΩ als 4K7 aufgelistet, genau so ein 1,2-MΩ-Widerstand als 1M2. Ich mag diese Schreibweise, also werde ich sie auch benutzen.

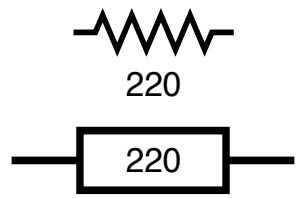


Abbildung 2-41. *Zwei Arten, einen 220-Ω-Widerstand abzubilden. Die obere Version ist traditionell und wird heute noch in den USA benutzt. Unten die europäische Version.*

GRUNDLAGEN

Die wichtigsten Schaltzeichen (Fortsetzung)

Potentiometer leiden unter derselben uneinheitlichen Ausführung in den USA und Europa. In beiden Fällen findest du aber einen Pfeil, der für den Schleifkontakt (meistens der mittlere Anschluss) steht, der den Widerstand berührt. Siehe Abbildung 2-42. LEDs werden manchmal mit einem Kreis dargestellt und manchmal ohne. Ich finde es mit Kreisen besser. Siehe Abbildung 2-46.

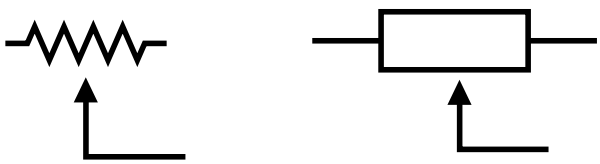


Abbildung 2-42. *Potentiometersymbole: Links das traditionelle und in den USA benutzte, rechts das europäische. In beiden Fällen zeigt der Pfeil den Schleifkontakt an (normalerweise der mittlere Anschluss).*

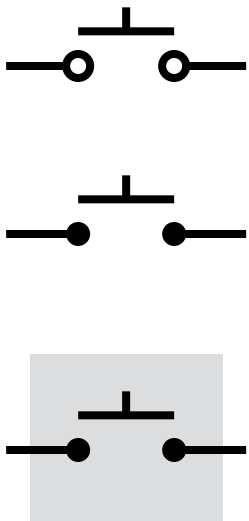


Abbildung 2-43. *Drei Möglichkeiten, einen Taster zu zeichnen.*

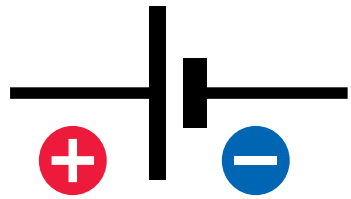


Abbildung 2-44. *Das Zeichen für eine Batterie wird normalerweise ohne Plus und Minus benutzt. Ich habe sie aus Gründen der Klarheit hinzugefügt.*

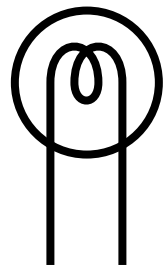


Abbildung 2-45. *Das Zeichen für eine Glühbirne.*

Ich erkläre andere Varianten von Schaltzeichen später im Buch. Was du dir jetzt schon merken solltest:

- Die Position der Bauteile in einem Schaltplan ist nicht wichtig.
- Der Zeichenstil der Symbole in einem Schaltplan ist nicht wichtig.
- Die Verbindungen zwischen den Bauteilen sind sehr wichtig.

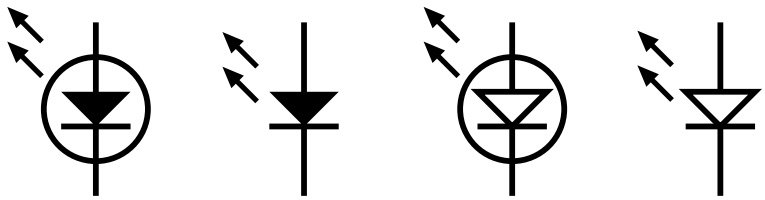


Abbildung 2-46. *Manchmal werden LEDs mit einem Kreis abgebildet, manchmal nicht. In diesem Buch benutze ich das Zeichen mit dem Kreis. Die Pfeile weisen auf die Abgabe von Licht hin.*

GRUNDLAGEN

Die wichtigsten Schaltzeichen (Fortsetzung)

Ein Beispiel: Die drei Schaltungen mit einer LED in Abbildung 2-47 zeigen die Bauteile in verschiedenen Positionen mit verschiedenen Symbolen, aber alle drei Schaltungen funktionieren genau gleich, weil ihre Verbindungen gleich sind. Genauer gesagt zeigen sie alle die Schaltung, die du in Experiment 4 gebaut hast, wie in Abbildung 1-50 zu sehen.

Die Schaltzeichen werden im Schaltplan oft so platziert, dass die Schaltung intuitiv so einfach wie möglich zu verstehen ist, egal, wie man sie mit echte Bauteilen aufbauen würde. Vergleiche das Beispiel in Abbildung 2-48 mit den zwei zweipoligen Umschaltern mit der Version aus Abbildung 2-35. Die vorherige Abbildung sah eher so aus wie auf deinem Arbeitstisch, aber Abbildung 2-48 veranschaulicht den Stromfluss viel besser.

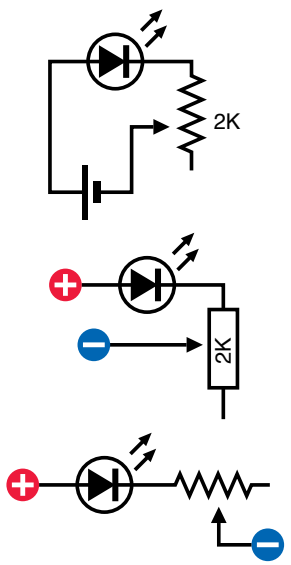


Abbildung 2-47. *Diese drei Schaltpläne stellen alle denselben einfachen Schaltkreis dar. Es ist die Schaltung, die du in Experiment 4 mit dem Potentiometer gebaut hast.*

In vielen Schaltplänen wird die positive Seite der Stromversorgung an der Oberseite der Zeichnung gezeigt und die negative bzw. Masse an der Unterseite. Viele Leute zeichnen auch einen Schaltplan mit einem Eingangssignal (z.B. einem Audioeingang in einer Verstärkerschaltung) an der linken Seite und der Ausgabe an der rechten Seite. Also fließt »positive Spannung« von oben nach unten und Signale fließen oft von links nach rechts.

Als ich dieses Buch geplant habe, habe ich die Schaltpläne zunächst so gezeichnet, dass sie diesen Konventionen von oben-nach-unten und links-nach-rechts entsprechen. Dann habe ich angefangen, die Schaltungen aufzubauen und zu testen und mich umentschieden. Wir benutzen ein so genanntes »Steckbrett«, um Schaltungen zu bauen. Die Verbindungen im Inneren erfordern, dass wir die Bauteile ganz anders anordnen, als es in einem normalen Schaltplan gemacht wird. Wenn man gerade erst anfängt, Elektronik zu lernen, ist es sehr verwirrend, wenn man versucht, die Bauteile aus einem Schaltplan für die Anordnung auf einem Steckbrett umzusortieren.

Also habe ich im gesamten Buch die Schaltpläne so gezeichnet, dass sie so ähnlich aussehen, wie sie auf einem Steckbrett verdrahtet werden. Ich glaube, dass die Vorteile gegenüber dem Nachteil, dass es ein wenig anders gezeichnet wird als in vielen Schaltplänen, überwiegen.

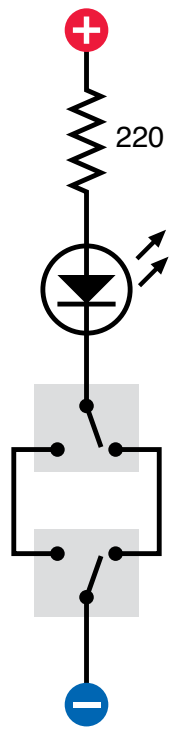


Abbildung 2-48. *Dieser Schaltplan ist nur eine andere, deutlichere und einfachere Weise, die Schaltung aus Abbildung 2-35 darzustellen.*

Experiment 7: LED mit einem Relais schalten

Du brauchst dafür:

- Netzteil, Seitenschneider und Abisolierwerkzeug.
- Relais (2 Wechsler). Anzahl: 2.
- LEDs. Anzahl: 2.
- Widerstand, ca. 680 Ω. Anzahl: 1.
- Taster, einpolig. Anzahl: 1.
- Schaltdraht, 0,5mm Durchmesser, oder Verbindungskabel.
- Krokodilklemmen. Anzahl: 8.
- Cuttermesser.

Der nächste Schritt in unserer Erforschung des Schaltens ist, einen ferngesteuerten Schalter zu benutzen. Wenn ich »ferngesteuert« sage, meine ich einen Schalter, dem man ein Signal schicken kann, um ihn ein- oder auszuschalten. So einen Schalter nennt man ein Relais, er leitet Signale von einem Teil des Schaltkreises zu einem anderen weiter (engl. to relay = weiterleiten). Oft wird ein Relais mit einer niedrigen Spannung oder einem geringen Strom betrieben und schaltet mit dieser eine höhere Spannung oder einen stärkeren Strom.

So ein Aufbau kann kostengünstig sein. Wenn du z.B. ein Auto anlässt, sendet ein relativ kleiner, billiger Schalter ein schwaches Signal durch ein relativ langes, dünnes, billiges Kabel bis in ein Relais beim Anlasser. Das Relais startet den Motor durch ein kürzeres, dickeres, teureres Kabel, dass rund 100 Ampere aushält.

Auch wenn du den Deckel einer Toplader-Waschmaschine aufmachst, während sie läuft, schließt du einen kleinen Schalter, der ein schwaches Signal durch ein dünnes Kabel zu einem Relais führt. Das Relais kümmert sich dann um die wesentlich größere Aufgabe, den Motor abzuschalten, der die Trommel mit nasser Wäsche antreibt.

Bevor du das hier vorgestellte Experiment beginnst, brauchst du eine bessere Stromversorgung. Wir benutzen jetzt keine Batterien mehr, weil die meisten Relais mehr als 6 Volt brauchen. Du solltest sowieso eine Stromquelle haben, die je nach Bedarf verschiedene Spannungen liefern kann. Am einfachsten geht das mit einem Netzteil.

Zuerst musst du dein Netzteil vorbereiten. Wenn es funktioniert, versorgst du damit das Relais mit Strom. Am Anfang wird das Relais nur zwischen zwei LEDs umschalten, aber dann wirst du die Schaltung so verändern, dass die LEDs automatisch blinken. Zu guter Letzt baust du diese Schaltung auf einem Steckbrett noch einmal auf und kannst dich von den Krokodilklemmen verabschieden, jedenfalls größtenteils.

Bereite dein Netzteil vor

Ein Steckernetzteil wird in die Steckdose gesteckt und wandelt die hohe Wechselspannung des Hausnetzes in eine niedrige Gleichspannung für elektronische Geräte um. Jedes Ladegerät, ob für dein Handy, deinen iPod oder

Abbildung 2-49. *Vorbereitung des Universalnetzteils. Schneide erst einmal den kleinen Stecker ab und wirf ihn weg.*

Abbildung 2-50. *Dann entferne die Isolierung von den Drähten und kürze einen davon etwas mehr, damit sie sich nicht berühren können. Markiere den positiven Draht mit einem roten Filzstift.*

deinen Laptop ist ein spezifisches Netzteil, das nur eine Spannung über einen geräteabhängigen Stecker liefert. Ich hatte dich ja gebeten, dir ein Universalnetzteil zu kaufen, das verschiedene Spannungen liefern kann. Jetzt werden wir uns erst einmal vom Stecker trennen.

1. Es ist sehr wichtig, dass das Netzteil dabei nicht in der Steckdose steckt!
2. Knipse den kleinen Anschluss am Ende des Kabels ab. Siehe Abbildung 2-49.
3. Nimm ein Teppich- oder Bastelmesser oder eine Schere und schneide zwischen den beiden Adern etwa einen Zentimeter weit ein. Dann ziehe beide Adern ein Stück weit auseinander.
4. Kürze mit dem Seitenschneider eine Leitung etwas mehr als die andere, so dass sich die blanken Kupferlitzen nicht berühren, nachdem du sie abisoliert hast. Das ist eine Vorsichtsmaßnahme, damit dir dein Netzteil nicht durch einen Kurzschluss durchbrennt.
5. Entferne die Isolierung an beiden Adern mit deiner Abisolierzange. Verdrille die feinen Kupferdrähte zwischen Daumen und Zeigefinger, so dass kein Einzeldraht seitlich absteht. Siehe Abbildung 2-50.
6. Achte darauf, dass sich die beiden Adern nicht berühren und stecke dein Netzteil in die Steckdose. Stelle dein Multimeter auf Gleichspannung und halte die Messspitzen an die Kabelenden. Wenn vor deiner Messung ein Minuszeichen steht, hast du die Prüfleitungen genau falsch herum. Wenn du sie vertauschst, sollte das Minuszeichen verschwinden. So kannst du herausfinden, welche Ader positiv ist.
7. Markiere die positive Ader des Netzteils. Wenn die Aderisolation weiß ist, kannst du sie mit einem roten Filzstift kennzeichnen. Wenn die Isolation schwarz ist, kennzeichne sie mit einem Aufkleber. Der positive Anschluss ist immer positiv, egal wie herum du das Netzteil in die Steckdose steckst.

Das Relais

Das Relais, das du benutzen solltest, hat an der Unterseite kleine spitze Beinchen, die nach einem Standard angeordnet sind. Wenn du irgendein anderes Relais kaufst, musst du selbst herausfinden, welche Anschlusspins mit der Spule verbunden sind, welche zum Schalter führen und welche zu den Öffner- und Schließkontakten führen. Das kannst du auch im Datenblatt des Herstellers nachlesen, aber ich empfehle dir nachdrücklich, einfach eines der Relais auf dem Einkaufszettel zu kaufen, damit du der Anleitung hier einfacher folgen kannst.

Du solltest zwei Relais kaufen, damit du eines davon untersuchen kannst. Damit meine ich, dass du es aufbrechen und hineinschauen kannst. Wenn du dabei sehr, sehr vorsichtig bist, kannst du das Relais danach noch weiterbenutzen. Falls nicht, hast du halt immer noch einen Ersatz.

Am einfachsten kannst du das Relais mit einem Cutter oder Teppichmesser öffnen. In den Abbildungen 2-52, 2-53 und 2-54 siehst du, wie es geht. Schäle die Kanten vom Plastikgehäuse des Relais ab, bis du eine minimale Öffnung siehst. Schneide dann nicht weiter: Die Teile im Inneren liegen ganz dicht am Gehäuse.

Brich den Deckel ab. Mit einer Spitzzange kannst du den Rest der Hülle wegbrechen. Lies den folgenden Abschnitt »Grundlagen: Ein Relais von innen« und schließe dann die Stromversorgung an, um zu sehen, wie es funktioniert.

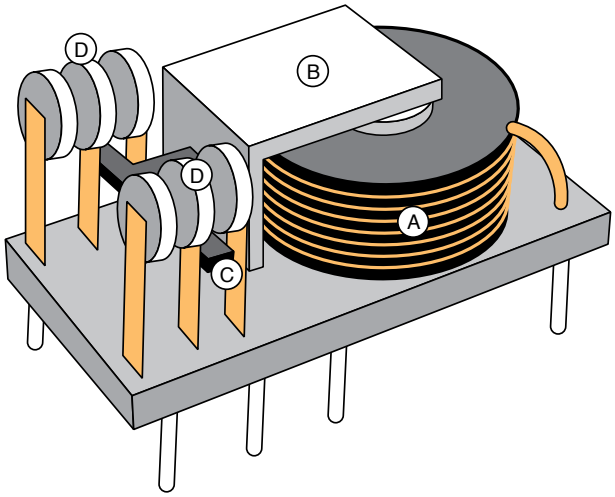


Abbildung 2-51. *Hier sieht man eine mögliche Anordnung der Einzelteile in einem Relais. Die Spule (A) zieht den Hebel (B) magnetisch an und nach unten. Eine Verlängerung aus Plastik (C) drückt nach außen gegen flexible Metallstreifen und bewegt die Pole des Relais (D) zwischen den Kontakten.*

Abbildung 2-52. *Um in ein vergossenes Relais hineinzuschauen, schäle die Kanten an der Oberseite des Kunstoffgehäuses mit einem Cuttermesser ab, bis du einen kleinen Spalt hast.*

Abbildung 2-53. *Stecke deine Messerklinge hinein, um den Deckel aufzubrechen, und wiederhole den Vorgang mit den Seiten.*

Abbildung 2-54. *Wenn du sehr, sehr vorsichtig bist, sollte das Relais noch funktionieren, nachdem du es geöffnet hast.*

Abbildung 2-55

Abbildung 2-56. *Um ein Relaisgehäuse zu öffnen, indem man die Ecken abschält, braucht man Geduld. Schnellere Methoden wie eine Axt oder ein Flammenwerfer können die Bedürfnisse derjenigen befriedigen, die eine kurze Aufmerksamkeitsspanne haben. Die Ergebnisse sind aber nicht vorhersehbar.*

Abbildung 2-57. *Vier verschiedene 12-Volt-Relais mit und ohne Gehäuse. Das Automobil-Relais (ganz links) ist das einfachste und leicht zu verstehen, weil es ohne große Rücksicht auf die Gehäusegröße gebaut wurde. Kleinere Relais sind raffinierter aufgebaut, komplexer und schwieriger zu verstehen. In der Regel (aber nicht immer) kann ein kleines Relais weniger Strom schalten als ein größeres.*

GRUNDLAGEN

Im Inneren eines Relais

Ein Relais besteht aus einer Drahtspule, die um einen Eisenkern gewickelt ist. Sobald Strom durch die Spule fließt, übt der Eisenkern eine magnetische Kraft aus, die einen Hebel anzieht, der einen elastischen Metallstreifen drückt oder zieht, der zwei Kontakte schließt. Solange der Strom durch die Spule fließt, ist das Relais »erregt« und die Kontakte bleiben geschlossen. Wenn der Strom nicht mehr durch die Spule fließt, lässt das Relais los und der elastische Metallstreifen schnappt an seinen Ausgangsort zurück, wodurch die Kontakte gelöst werden. (Die Ausnahme zu dieser Regel ist ein einrastendes Relais, das einen zweiten Stromstoß durch eine zweite Spule benötigt, um wieder in die Ausgangsstellung zu kommen. Wir benutzen einrastende Relais aber erst später im Buch.)

Relais werden wie Schalter kategorisiert. Daher gibt es ein- und zweipolige Relais, Öffner, Schließer, Umschalter usw.

Vergleiche die Schaltzeichen in Abbildung 2-58 mit den Zeichen für Schalter aus Abbildung 2-38. Der Hauptunterschied ist der, dass das Relais eine Spule hat, die den Schalter aktiviert. Der Schalter wird in seiner Ruhestellung abgebildet, wenn kein Strom durch die Spule fließt.

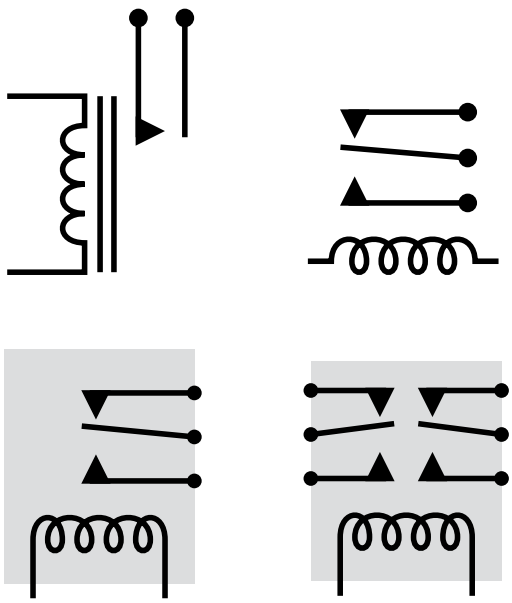


Abbildung 2-58. *Verschiedene Arten, ein Relais im Schaltplan abzubilden. Oben links: Einpoliger Schließer. Oben rechts und unten links: Einpoliger Wechselschalter. Unten rechts: Zweipoliger Wechselschalter. Die Varianten unten links und rechts werden in diesem Buch benutzt.*

Die Kontakte werden als kleine Dreiecke dargestellt. Wenn es zwei Pole statt nur einem gibt, aktiviert die Spule beide Schalter gleichzeitig.

Die meisten Relais sind unpolarisiert (neutral), also kann der Strom aus beiden Richtungen durch die Spule fließen; dem Relais ist es egal. Du solltest aber trotzdem im Datenblatt nachlesen, um sicher zu gehen. Manche Spulen in Relais funktionieren nur mit Wechselspannnung, aber fast alle Niedrigspannungs-Relais brauchen Gleichstrom, d.h. einen durchgängigen Stromfluß wie z.B. von einer Batterie. In diesem Buch benutzen wir nur Gleichstrom-Relais.

Relais leiden unter denselben Einschränkungen wie Schalter: Ihre Kontakte werden von Funken zerfressen, wenn du damit zuviel Spannung schaltest. Es lohnt sich nicht, ein paar Euro zu sparen, indem man ein Relais nimmt, dass für weniger Strom oder Spannung ausgelegt ist, als die Anwendung es erfordert. Das Relais wird dann versagen, wenn du es gerade brauchst, und das Auswechseln ist möglicherweise schwierig.

Weil es so viele verschiedene Typen von Relais gibt, lies dir die Angaben genau durch, bevor du eines kaufst. Achte auf diese Grundwerte:

Spulenspannung (coil voltage)
: Die Spannung, die das Relais erwartet, wenn du es auslöst.

Ansprechspannung (set voltage)
: Die minimale Spannung, die das Relais benötigt, um den Schalter zu schließen. Dieser Wert wird etwas unter der idealen Spulenspannung liegen.

Betriebsstrom (operating current)
: Der Stromverbrauch der Spule (normalerweise in Milliampere), wenn das Relais erregt ist. Manchmal wird die Leistung auch in Milliwatt angegeben.

maximaler Schaltstrom (switching capacity)
: Die maximale Stromstärke, die man mit den Kontakten im Relais schalten kann. Das gilt normalerweise für eine »ohmsche Last«, was einen passiven Verbraucher wie eine Glühbirne bezeichnet. Wenn du mit dem Relais einen Motor einschaltest, braucht der Motor einen großen Einschaltstrom, bevor er seine Geschwindigkeit erreicht. In solchen Fällen solltest du ein Relais nehmen, das für den doppelten Wert des beim normalen Motorbetrieb fließenden Stroms ausgelegt ist.

Ablauf

Lege das Relais so hin, dass die Beinchen nach oben zeigen und schließe die Drähte so an wie in Abbildung 2-59. Benutze einen Widerstand mit 680 Ω (ein Widerstand mit 1 kΩ geht auch, wenn du den genauen Wert nicht da hast). Schließe auch einen Taster an. (Dein Taster kann auch anders aussehen als in der Abbildung, aber solange es sich um einen einpoligen Taster mit zwei Kontakten an der Unterseite handelt, funktioniert er genauso.)

Wenn du den Taster herunterdrückst, wird das Relais die erste LED aus- und die zweite LED einschalten. Wenn du den Taster wieder loslässt, leuchtet die erste LED und die zweite geht aus.

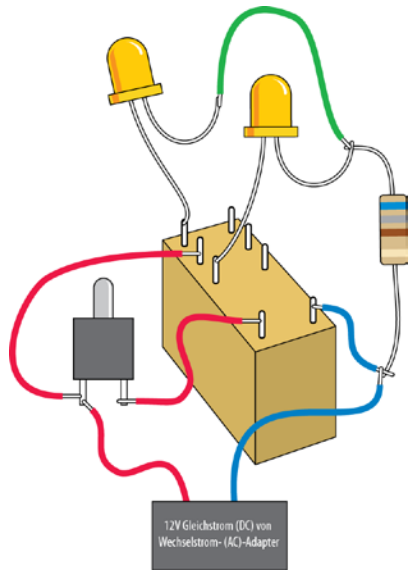


Abbildung 2-59. *Auch hier kannst du Verbindungskabel anstelle von einfachen Drähten benutzen, wenn du welche hast.*

So funktioniert es

Schau dir den Schaltplan in Abbildung 2-60 an und vergleiche ihn mit Abbildung 2-59. In Abbildung 2-62 kannst du sehen, wie die aus dem Relais kommenden Anschlusspins im Inneren verbunden werden, wenn die Spule eingeschaltet wird oder nicht.

Das ist ein zweipoliges Umschaltrelais, aber wir benutzen hier nur einen Pol und ignorieren den anderen. Warum kaufen wir also kein einpoliges Relais? Weil die Anordnung der Anschlüsse sinnvoll ist, wenn wir diese Schaltung auf einem Steckbrett erweitern, was sehr bald passieren wird.

Im Schaltplan habe ich den Schalter so gezeichnet, wie er in der Ruhestellung steht. Wenn Strom an die Spule angelegt wird, schaltet er nach oben um. Das ist genau entgegengesetzt zu dem, was man es erwarten würde, aber so funktioniert es bei genau diesem Relais eben.

Wenn du dir sicher bist, dass du diese Schaltung verstanden hast, können wir zum nächsten Schritt übergehen: eine kleine Änderung, damit das Relais sich selbst ein- und ausschalten kann, wie es in Experiment 8 passiert.

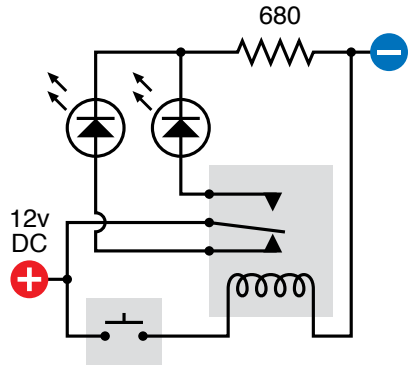


Abbildung 2-60. *Dieselbe Schaltung als Schaltplan.*

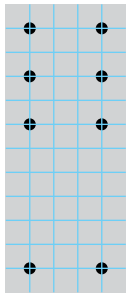


Abbildung 2-61. *Die Anordnung der Anschlüsse des Relais auf einem Raster mit 2,5 mm. Diesen Relaistyp brauchst du in Experiment 8.*

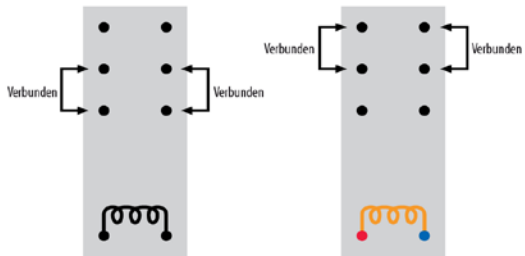


Abbildung 2-62. *So verbindet das Relais die Anschlüsse, wenn es in Ruhestellung (links) oder erregt (rechts) ist.*

Du kannst die großformatige Version des Schaltbildes hier downloaden: http://oreilly.com/catalog/9780596153748.

Experiment 8: Ein Relais-Oszillator

Du brauchst:

- Universalnetzteil, Steckbrett, Draht, Drahtschneider und Abisolierwerkzeug.
- Relais (2 Wechsler). Anzahl: 1.
- LEDs. Anzahl: 2.
- Taster, einpolig. Anzahl: 1.
- Krokodilklemmen. Anzahl: 8.
- Widerstand, ca. 680 Ω. Anzahl: 1.
- Elko, 1000 µF. Anzahl: 1.

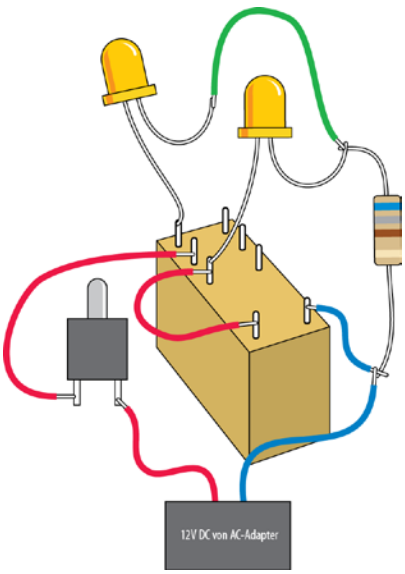


Abbildung 2-63. *Eine kleine Änderung der vorherigen Schaltung sorgt dafür, dass das Relais oszilliert, wenn Strom angelegt wird.*

Sieh dir die überarbeitete Zeichung in Abbildung 2-63 und den überarbeiteten Schaltplan in Abbildung 2-64 an. Vorher gab es eine direkte Verbindung zwischen dem Taster und der Spule. In der neuen Version fließt der Strom zur Spule erst durch die Kontakte des Relais.

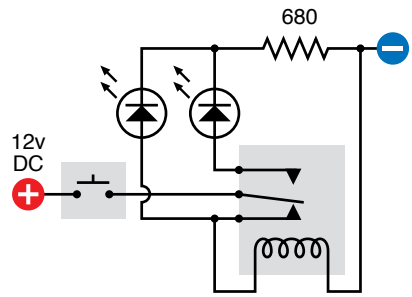


Abbildung 2-64. *Der Schaltplan des Oszillator-Schaltkreises.*

Wenn du jetzt auf den Taster drückst, liefern die Kontakte in Ruhestellung Strom sowohl an die Spule als auch an die linke LED. Aber sobald die Spule aktiviert ist, öffnet sie die Kontakte. Das unterbricht den Strom zur Spule, lässt das Relais wieder los, die Kontakte schließen sich wieder und leiten einen weiteren Stromstoß zur Spule, die die Kontakte öffnet. Dieser Zyklus setzt sich endlos fort.

Da wir ein sehr kleines Relais benutzen, schaltet es sehr schnell an und wieder aus. Es wird vielleicht sogar 50-mal in der Sekunde oszillieren. (Zu schnell, dass die LED anzeigen könnte, was wirklich passiert.) Versichere dich noch einmal, dass deine Schaltung so aussieht wie in der Zeichnung und drücke dann ganz kurz auf den Taster. Du solltest dann ein Summen vom Relais hören. Wenn du hörgeschädigt bist, halte deinen Finger leicht an das Relais. Du solltest eine Vibration wahrnehmen.

Wenn du ein Relais auf diese Weise zur Oszillation zwingst, kann es leicht durchbrennen oder seine Kontakte beschädigen. Darum solltest du den Taster auch nur kurz drücken. Um die Schaltung sinnvoller zu gestalten, brauchen wir etwas, dass das Relais abbremst und verhindert, dass es sich selbst zerstört. Wir brauchen einen Kondensator.

Elektrische Kapazität hinzufügen

Füge einen Elektrolytkondensator (Elko) mit 1000 µF parallel zur Spule des Relais hinzu, wie du in der Zeichnung in Abbildung 2-65 und dem Schaltplan in Abbildung 2-66 sehen kannst. Sieh dir noch einmal Abbildung 2-14 an, wenn du unsicher bist, wie ein Kondensator aussieht. Der Wert von 1000 µF ist seitlich aufgedruckt. Ich erkläre etwas später, was er bedeutet.

Achte darauf, dass das kurze Beinchen des Kondensators mit der negativen Seite der Schaltung verbunden ist, sonst funktioniert es nicht. Außer dem kürzeren Anschluss ist auf dem Kondensator selbst auch noch ein Minus aufgedruckt, damit du weißt, welche Seite die negative ist. Bei Elkos ist das nicht verhandelbar. Wenn du jetzt den Taster drückst, sollte das Relais langsam klicken, anstelle zu summen. Was passiert hier?

Ein Kondensator ist wie ein Mini-Akku. Er ist so klein, dass er sich in Sekundenbruchteilen auflädt, bevor das Relais Zeit hat, die unteren Kontakte zu öffnen. Wenn dann die Kontakte geöffnet sind, funktioniert der Kondensator wie eine Batterie und versorgt das Relais mit Strom. Er kann die Spule des Relais für etwa eine Sekunde speisen. Nachdem die Stromreserve des Kondensators verbraucht ist, entspannt sich das Relais und der Vorgang wiederholt sich.

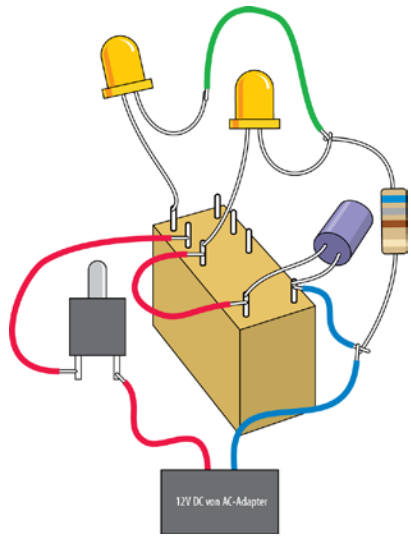


Abbildung 2-65. *Wenn man einen Kondensator hinzufügt, oszilliert das Relais langsamer.*

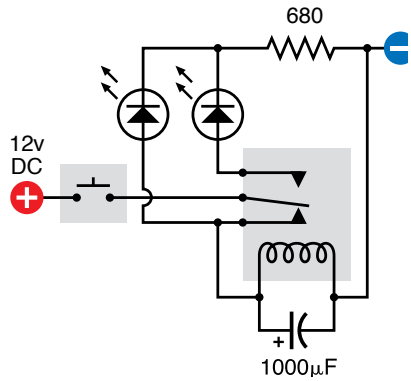


Abbildung 2-66. *Der Kondensator ist im Schaltbild ganz unten zu sehen.*

GRUNDLAGEN

Farad-Grundwissen

Das Farad ist eine internationale Einheit für die Kapazität. Moderne Schaltungen benötigen in der Regel kleine Kondensatoren. Daher ist es normal, dass man Kondensatoren begegnet, deren Wert in Mikrofarad (ein Millionstel eines Farad) oder sogar Pikofarad (ein Billionstel eines Farad) angegeben werden. Nanofarad werden auch benutzt, in den USA weniger als in Europa. Siehe dazu die folgende Umrechnungstabelle.

0,001 Nanofarad	1 Pikofarad	1 pF
0,01 Nanofarad	10 Pikofarad	10 pF
0,1 Nanofarad	100 Pikofarad	100 pF
1 Nanofarad	1000 Pikofarad	1000 pF
0,001 Mikrofarad	1 Nanofarad	1 nF
0,01 Mikrofarad	10 Nanofarad	10 nF
0,1 Mikrofarad	100 Nanofarad	100 nF
1 Mikrofarad	1000 Nanofarad	1000 nF
0,000001 Farad	1 Mikrofarad	1 µF
0,00001 Farad	10 Mikrofarad	10 µF
0,0001 Farad	100 Mikrofarad	100 µF
0,001 Farad	1000 Mikrofarad	1000 µF

(Dir begegnen vielleicht auch Kapazitäten von über 1000 Microfarad, aber diese sind selten.)

Elektroschock durch Kondensator

Wenn ein großer Kondensator mit einer Hochspannung geladen wird, kann er diese Spannung für lange Zeit halten. Weil die Schaltungen in diesem Buch nur mit niedrigen Spannungen arbeiten, musst du dir hierbei keine Sorgen machen. Wenn du aber so unbekümmert bis und in einem alten Fernseher herumkramst (was ich nicht empfehle), wartet vielleicht eine böse Überraschung auf dich. Ein nicht entladener Kondensator kann dich ebenso einfach umbringen, als würdest du einen Finger in die Steckdose stecken. Fasse nie einen großen Kondensator an, wenn du nicht genau weißt, was du tust.

GRUNDLAGEN

Kondensator-Grundwissen

Gleichstrom fließt nicht durch einen Kondensator, aber Spannung kann sich darin sehr schnell ansammeln und bleibt bestehen, wenn die Stromversorgung abgesteckt wird. Die Abbildungen 2-67 und 2-68 können dir vielleicht helfen zu verstehen, was in einem voll aufgeladenen Kondensator passiert.

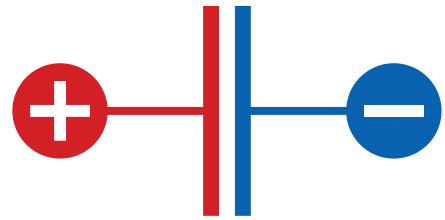


Abbildung 2-67. *Wenn Gleichspannung einen Kondensator erreicht, fließt kein Strom, aber der Kondensator lädt sich wie eine Batterie auf. Die positive und negative Ladung ist gleich groß und einander entgegengesetzt.*

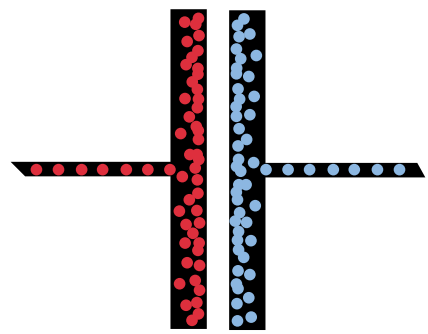


Abbildung 2-68. *Du kannst dir vorstellen, dass sich positive »Ladungsteilchen« auf der einen Seite des Kondensators anhäufen und negative »Ladungsteilchen« auf die andere Seite anlocken.*

Bei den meisten modernen Elektrolyt-Kondensatoren wurden die Platten auf zwei Streifen sehr dünnen, flexiblen Metallfilm reduziert, die oft umeinander gewickelt sind und von einem ebenso dünnen Isolator getrennt werden. Keramische Scheibenkondensatoren bestehen in der Regel nur aus einer einzelnen Scheibe eines nichtleitenden Materials, die beidseitig mit Metall beschichtet und mit Anschlussdrähten versehen ist. Die zwei gebräuchlichsten Kondensatorarten sind keramisch (die nur eine sehr geringe Ladung speichern können) und elektrolytisch (die viel größer sein können). Keramikkondensatoren (Kerkos) sind oft scheibenförmig und gelb, Elektrolytkondensatoren (Elkos) sehen aus wie kleine Blechdosen und können fast jede Farbe haben. Vergleiche dazu Abbildungen 2-13 und 2-14 für einige Beispiele.

GRUNDLAGEN

Kondensator-Grundwissen (Fortsetzung)

Kerkos haben keine Polung, das bedeutet, dass du negative Spannung an jedem der beiden Anschlüsse anlegen kannst.

Elkos haben eine Polung und funktionieren nicht, wenn sie falsch herum angeschlossen werden.

Das Schaltzeichen für einen Kondensator gibt es in zwei wichtigen Varianten: Mit zwei geraden Linien (die für die Platten in einem Kondensator stehen) oder mit einer geraden und einer gebogegen Linie, wie in Abbildung 2-69. Die gebogene Linie zeigt dir an, dass diese Seite des Kondensators negativer sein sollte als die andere. Das Schaltzeichen kann auch ein Plus enthalten. Leider machen sich viele Leute nicht die Mühe, eine gebogene Linie für einen gepolten Kondensator zu zeichnen. Andere zeichnen sogar eine gebogene Linie für einen ungepolten Kondensator.

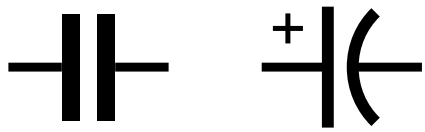


Abbildung 2-69. *Das allgemeine Schaltzeichen für einen Kondensator ist auf der linken Seite zu sehen. Die Version rechts deutet auf einen gepolten Kondensator hin, dessen linke Scheibe »positiver« als die rechte Scheibe sein muss. Das Pluszeichen wird oft weggelassen.*

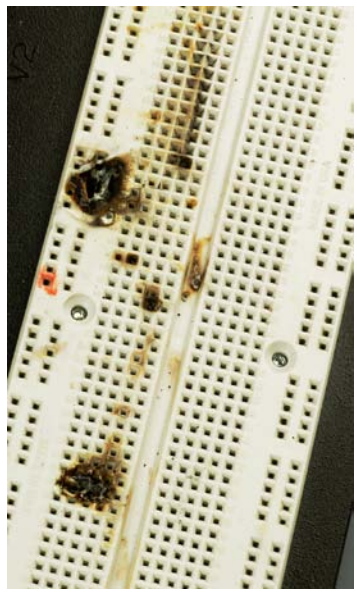


Abbildung 2-70. *In dieses Steckboard wurde ein Tantalkondensator eingesteckt und versehentlich falsch herum mit einer Stromquelle verbunden, die eine große Stromstärke liefern konnte. Nach etwa einer Minute dieser Fehlnutzung rebellierte der Kondensator: er platzte auf und verteilte kleine brennende Partikel in der Umgebung, die sich in das Plastik des Steckbretts einbrannten. Lektion gelernt: Immer auf die Polung achten!*

Polarität von Kondensatoren

Du musst einen Elektrolyt-Kondensator so verbinden, dass das längere Beinchen positiver ist als das kürzere. Die Kondensatorhülle ist meistens mit einem Minuszeichen am kürzeren Beinchen bedruckt.

Einige Kondensatoren können böse reagieren, wenn du nicht auf die Polung achtest. Ich habe einmal einen Tantalkondensator mit einer Schaltung verbunden, mit einem Netzteil, dass sehr viel Strom liefern konnte. Als ich auf die Schaltung blickte und mich fragte, warum sie nicht funktioniert, platze der Kondensator auf und verteilte kleine brennende Partikel im Umkreis von einigen Zentimetern. Ich hatte vergessen, dass Tantalkondensatoren es mit der Polarität sehr genau nehmen. Abbildung 2-70 zeigt die Folgen.

HINTERGRUNDWISSEN

Michael Faraday und Kondensatoren

Die ersten Kondensatoren bestanden aus zwei Metallplatten mit einem sehr kleinen Spalt dazwischen. Die Funktionsweise dieses Aufbaus war einfach:

- Wenn eine Platte mit einer positiven Quelle verbunden waren, zogen die positiven Ladungen negative Ladungen auf die andere Platte.
- Wenn eine Platte mit einer negativen Quelle verbunden waren, zogen die negativen Ladungen positive Ladungen auf die andere Platte.

Die zuvor gezeigten Abbildungen 2-67 und 2-68 drücken diese grundlegende Idee aus.

Die elektrische Speichermenge eines Kondensators bezeichnet man als Kapazität. Sie wird in Farad gemessen, benannt nach Michael Faraday (Abbildung 2-71), einem weiteren Mitglied im Pantheon der Pioniere der Elektrizität. Er war ein englischer Chemiker und Physiker, der von 1791 bis 1867 lebte.

Faraday verfügte über keine besonders hochwertige Ausbildung und wusste nicht viel von Mathematik, hatte aber während einer siebenjährigen Lehre zum Buchbinder die Gelegenheit, eine große Vielzahl von Büchern bei der Arbeit zu lesen und sich so fortzubilden. Er lebte außerdem in einer Zeit, in der es sehr einfach war, mit vergleichsweise einfachen Experimenten fundamentale Eigenschaften der Elektrizität zu entdecken. Daher machte er wichtige Entdeckungen wie die der elektromagnetischen Induktion, die zur Entwicklung des Elektromotors führte. Er entdeckte auch, dass Magnetismus Lichtstrahlen beeinflussen kann.

Für seine Arbeit erhielt er zahlreiche Ehrungen und sein Portrait wurde zwischen 1991 und 2001 auf die britische 20-Pfund-Note gedruckt.

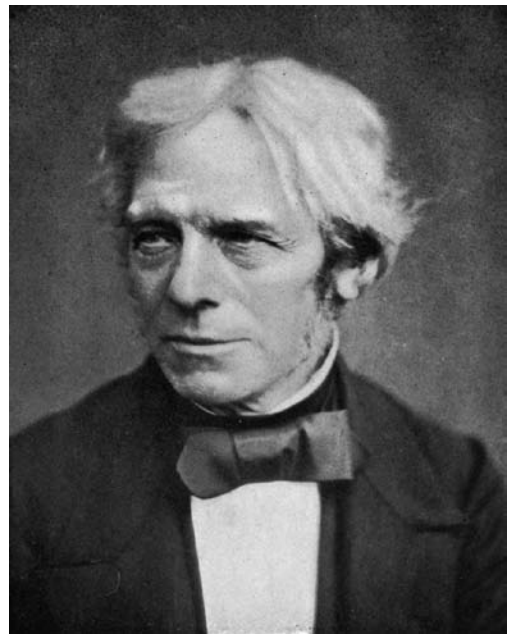


Abbildung 2-71. *Michael Faraday*

Umbau der Schaltung auf ein Steckbrett

Ich hatte dir versprochen, dich bald von den frustrierenden Verbindungen mit Krokodilklemmen zu erlösen. Jetzt ist es soweit. Richte deine Aufmerksamkeit jetzt mal auf den Kunststoffquader mit den vielen Löchern, den du kaufen solltest. Es wird *Steckbrett* (auch Breadboard oder Steckboard) genannt. Wenn man Bauteile in die Löcher steckt, werden diese im Inneren durch Metallschienen verbunden. So kann man eine Schaltung aufbauen, diese testen und sie auch wieder sehr leicht verändern. Hinterher kann man die Bauteile vom Steckbrett entfernen und für zukünftige Experimente weiterverwenden.

Zweifellos ist der Aufbau auf einem Steckbrett die bequemste Methode, um etwas zu testen, bevor man sich entscheidet, ob man es behalten will.

Fast alle Steckbretter sind so aufgebaut, dass sie mit Chips (Integrierten Schaltungen) kompatibel sind, die wir in Kapitel 4 dieses Buchs benutzen werden. Der Chip sitzt auf einer leeren Mittelrille des Steckbretts mit Reihen von kleinen Löchern auf beiden Seiten, normalerweise fünf Löcher pro Reihe. Dort kann man andere Bauteile einstecken.

Außerdem sollte das Steckbrett auf jeder Seite lange Spalten von Löchern haben. Über diese kann man die positiven und negativen Anschlüsse der Stromversorgung herstellen.

Schau dir die Abbildungen 2-72 und 2-73 an, die den oberen Teil eines herkömmlichen Steckbretts in der Draufsicht zeigen, sowie dasselbe Steckbrett wie auf einem Röntgenbild, so dass man die Metallschienen im Inneren sehen kann.

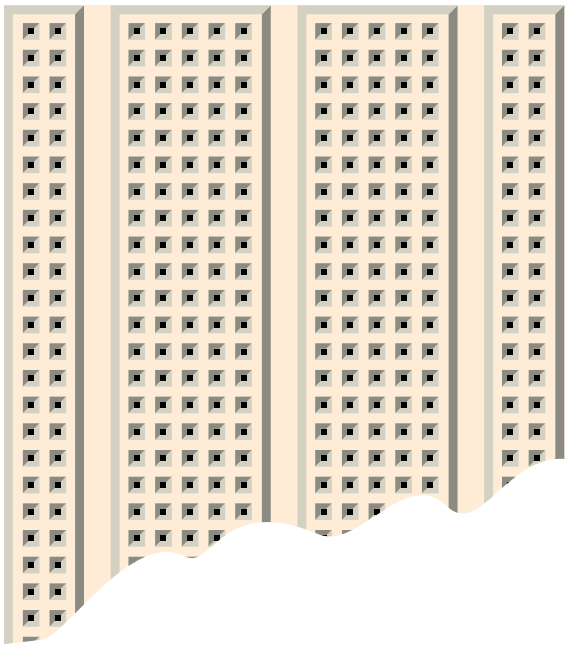


Abbildung 2-72. *Ein herkömmliches Steckbrett. Man kann die Bauteile einfach in die Löcher stecken, um eine Schaltung auf die Schnelle auszuprobieren.*

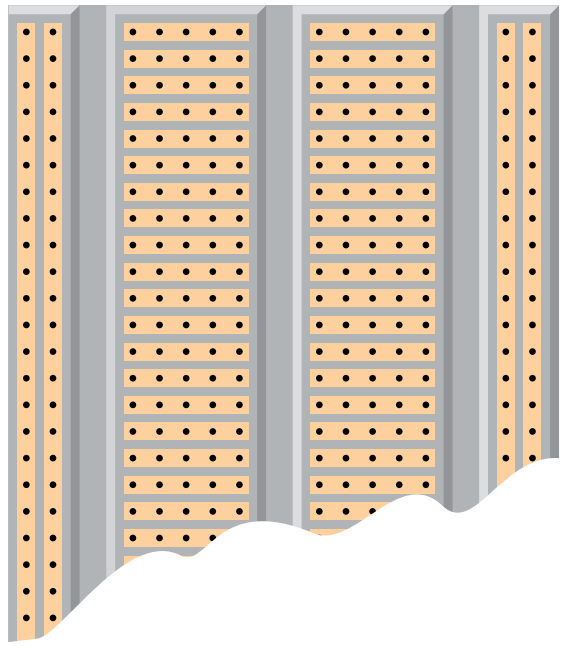


Abbildung 2-73. *Diese Röntgenansicht des Steckbretts zeigt die Kupferschienen im Inneren. Die Schienen leiten Strom von einem Bauteil zum anderen.*

Wichtig: Bei einigen Steckbrettern sind die vertikalen Spalten links und rechts je in zwei getrennte obere und untere Abschnitte unterteilt. Benutze die Durchgangsprüfung deines Multimeters, um herauszufinden, ob dein Steckbrett den Strom auf die ganze Länge verteilt. Falls dies nicht der Fall ist, kannst du die obere und untere Hälfte des Steckbretts mit kurzen Drähten verbinden.

Abbildung 2-74 zeigt dir, wie du das Steckbrett benutzen kannst, um deine Schaltung mit dem oszillierenden Relais nachzubauen. Damit es funktioniert, musst du die positive und negative Ader deines Netzteils anschließen. Da die Adern sehr wahrscheinlich Litzen (flexible Drähte) sind, wirst du sie nicht in die kleinen Löcher stecken können. Stattdessen kannst du zwei Stücke dünnen Draht nehmen und diese als Anschlüsse verwenden. An diese kannst du die Adern des Netzteils anklemmen, wie in Abbildung 2-75 gezeigt. (Ja, dafür brauchst du tatsächlich noch Krokodilklemmen.) Alternativ kannst du auch ein Steckbrett mit eigenen Stromanschlüssen benutzen, was praktischer ist.

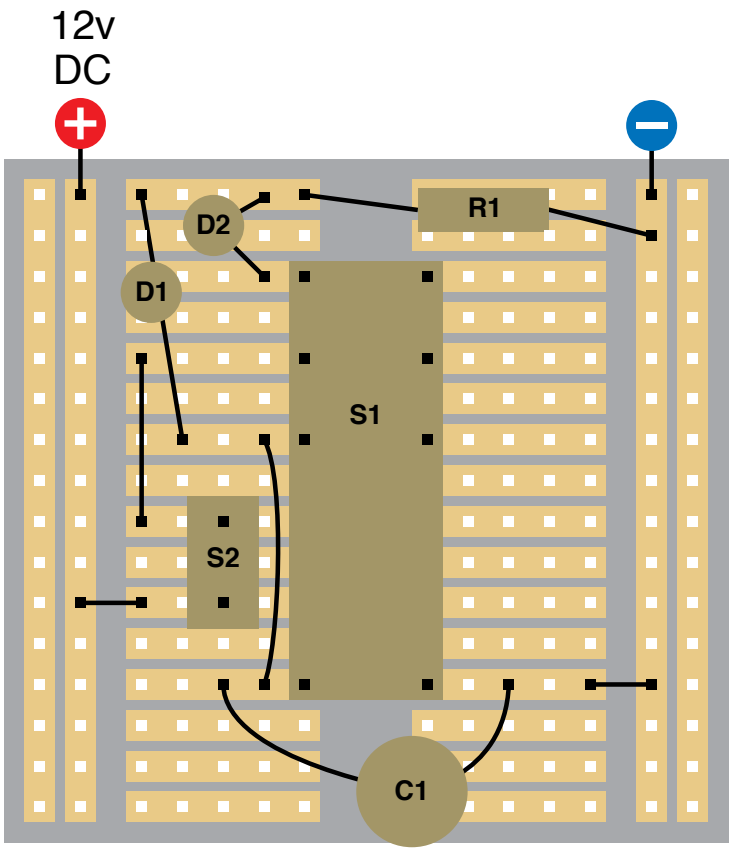


Abbildung 2-74. *Wenn du die Bauteile so wie abgebildet auf dein Steckbrett baust, erhältst du dieselbe Schaltung wie vorher mit Draht und Krokodilklemmen in Experiment 8. Werte der Bauteile:*

D1, D2: LEDs
S1: Zweipoliges Umschalte-Relais
S2: Einpoliger Taster (Schließer)
C1: Elko, 1000 µF
R1: Widerstand, mindestens 680 Ω

Abbildung 2-75. *Wenn dein Steckbrett keine Schraubanschlüsse hat, stecke zwei kurze Drahtbrücken hinein, die du mittels Krokodilklemmen mit den Litzen des Netzteils verbindest.*

Du brauchst auch noch mehr 0,5-mm-Draht oder vorgefertigte Verbindungsleistungen, um alle deine Bauteile mit Strom zu versorgen. Diese werden so in das Steckbrett eingesteckt, wie in den Abbildungen 2-76 und 2-77 zu sehen ist. Wenn du alles richtig verbindest, sollte deine Schaltung genau wie vorher funktionieren.

Wegen der Art und Weise, wie die Metallschienen im Steckbrett verbunden sind, ist man oft gezwungen, die Bauteile indirekt zu verbinden. Der Taster versorgt z.B. den Wechsler des Relais mit Strom, kann aber nicht direkt daneben gesteckt werden, weil dort kein Platz ist.

Merke dir, dass alle Schienen im Steckbrett, in die keine Kabel oder Bauteile eingesteckt sind, irrelevant sind. Sie machen einfach gar nichts.

Später im Buch werde ich für einige Schaltungen auch Beispielaufbauten mit Steckbrettern liefern, aber nach und nach musst du selbst herausfinden, wie du etwas aufbaust. Das ist ein wichtiger Teil des Hobbys Elektronik.

Du kannst die großformatige Version des Schaltbildes hier downloaden: http://oreilly.com/catalog/9780596153748.

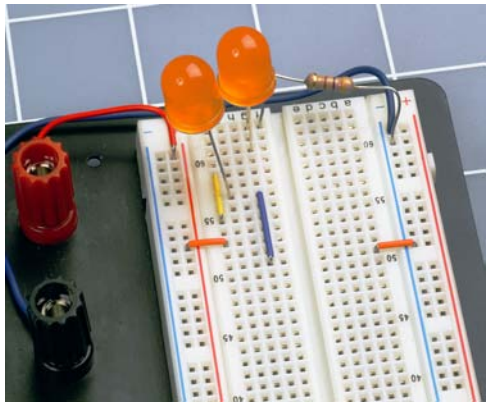


Abbildung 2-76. *Zwei extragroße LEDs, ein Widerstand und die nötigen Drahtbrücken sind auf dem Steckbrett.*

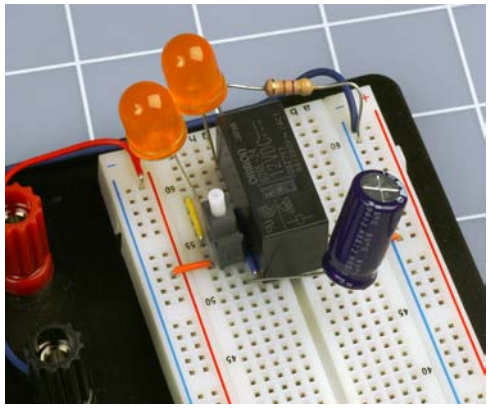


Abbildung 2-77. *Hier wurden der Taster, das Relais und der Kondensator hinzugefügt, um die Schaltung zu vervollständigen, wie sie in der Zeichnung und im Schaltplan zu sehen ist. Wenn der Taster gedrückt wird, oszilliert das Relais und die LED blinkt.*

Experiment 9: Zeit und Kondensatoren

Du brauchst:

- Universalnetzteil, Steckbrett, Draht, Drahtschneider und Abisolierwerkzeug
- Multimeter
- Taster, einpolig. Anzahl: 1
- Diverse Widerstände und Elkos

Im Experiment 8 hast du einen Kondensator parallel zur Spule des Relais gesetzt. Dabei wurde der Kondensator nahezu sofort aufgeladen, bevor er sich dann wieder durch die Spule entladen hat. Wenn du einen Widerstand zum Kondensator in Reihe schaltest, dauert es länger, bis der Kondensator sich auflädt. Indem du einen Kondensator dazu bringst, sich langsamer aufzuladen, kannst du auch Zeit messen, was ein wichtiges Konzept ist.

Entferne alle Bauteile von deinem Steckbrett und baue darauf eine sehr einfache Schaltung wie in Abbildung 2-78 auf. Dabei ist C1 ein Kondensator mit 1000 µF, R1 ein Widerstand mit 100 kΩ, R2 ein Widerstand mit 100 Ω und S1 ist der Taster, den du vorher schon benutzt hast. Stelle dein Multimeter auf Gleichspannung (Volt DC), halte die Messspitzen an die Anschlüsse des Kondensators und drücke auf den Taster. Du solltest steigende Werte angezeigt bekommen, da sich die Spannung im Kondensator sammelt. (Das geht mit einem Multimeter ohne Autorange einfacher, weil du nicht warten musst, bis das Gerät den Messbereich gefunden hat.) Der Widerstand R1 verlangsamt die Ladezeit des Kondensators.

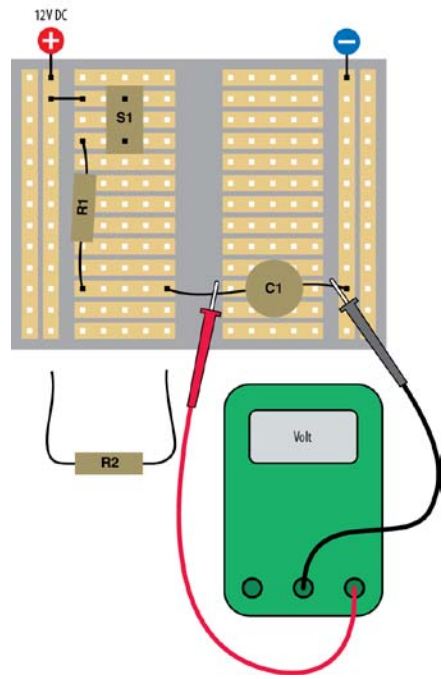


Abbildung 2-78. *Achte auf die steigende Spannung im Kondensator, während du auf den Taster drückst. Nimm einen anderen Wert für R1, entlade den Kondensator, indem du R2 an beide Enden hältst und wiederhole deine Messung.*

S1: Taster, Aus-(Ein)
R1: 100 kΩ (zu Beginn)
R2: 100 Ω
C1: 1000 µF

Nimm den Finger vom Taster, lege dein Multimeter zur Seite und entlade den Kondensator, indem du R2 für ein bis zwei Sekunden an beide Anschlussdrähte hältst. Jetzt setze anstelle von R1 einen Widerstand mit 50 kΩ ein und miss erneut. Das Multimeter sollte etwa doppelt so schnell hochzählen wie vorher.

Spannung, Widerstand und Kapazität

Stelle dir vor, der Widerstand sei ein Wasserhahn und der Kondensator sei der Ballon, den du mit Wasser füllen willst. Wenn du den Wasserhahn nur ganz wenig geöffnet hast, so dass das Wasser nur herauströpfelt, dauert es länger, bis der Ballon voll ist. Aber ein kleiner Wasserstrahl wird trotzdem den Ballon komplett füllen, wenn du lange genug wartest. Sofern der Ballon nicht platzt, geht das so lange, bis der Wasserdruck im Ballon genau so hoch ist wie im Rohr, das zum Wasserhahn führt. Siehe Abbildung 2-79.

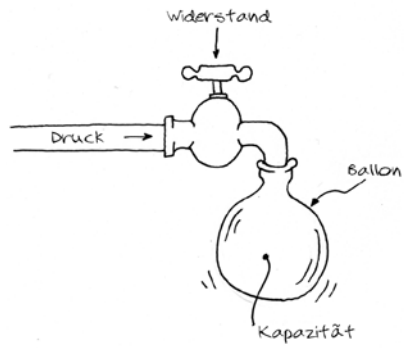


Abbildung 2-79. *Wenn der Wasserhahn halb geschlossen ist, dauert es länger, bis der Ballon gefüllt ist. Am Ende enthält er aber genauso viel Wasser und verfügt über denselben Druck.*

In der Schaltung funktioniert es genau so. Wenn du lange genug wartest, erreicht die Spannung über dem Kondensator denselben Wert wie die Spannung des Netzteils. In einem Stromkreis mit 12 Volt sollte der Kondensator letzten Endes 12 Volt erreichen (auch wenn es bis zum »letzten Ende« länger dauert, als du denkst).

Das ist sicher verwirrend, weil du zuvor gelernt hast, dass weniger Spannung aus einem Widerstand wieder herauskommt als man an einem Ende hineinsteckt. Warum sollte ein Widerstand die volle Spannung liefern, wenn er mit einem Kondensator verbunden wird?

Vergiss den Kondensator mal für einen Moment und erinnere dich daran, wie du zwei 1-kΩ-Widerstände getestet hast. In dieser Situation stellte jeder Widerstand die Hälfte des Gesamtwiderstands des Stromkreises dar, also fiel über jedem Widerstand die Hälfte der Spannung ab. Wenn du mit deinem Multimeter die Spannung zwischen dem Minuspol des Netzteils und dem Punkt zwischen den beiden Widerständen messen würdest, wären dies 6 Volt. Abbildung 2-80 veranschaulicht das.

Nehmen wir an, du ersetzt einen der 1-kΩ-Widerstände durch einen 9-kΩ-Widerstand. Der Gesamtwiderstand im Stromkreis ist nun 10 kΩ und daher fällt über dem 9-kΩ-Widerstand 90% der 12 Volt ab. Das ergibt 10,8 Volt. Das solltest du mal ausprobieren und mit deinem Multimeter überprüfen. (Du wirst keinen Widerstand mit 9 kΩ finden, weil das kein Standardwert ist. Nimm also den Wert, der am nächsten dran ist.)

Nehmen wir weiter an, du ersetzt den 9-kΩ-Widerstand durch einen mit 99 kΩ. Der Spannungsabfall wird bei 99% der Gesamtspannung liegen, also bei 11,88 Volt. Du merkst schon, wohin das führt: Je größer der Widerstand ist, desto größer ist sein Anteil am Spannungsabfall.

Wie ich aber bereits erwähnt habe, blockiert ein Kondensator Gleichspannung vollständig. Er kann eine elektrische Ladung aufnehmen, aber es fließt kein Strom hindurch. Daher verhält sich ein Kondensator wie ein Widerstand, der bei Gleichspannung einen unendlich hohen Wert hat.

(Tatsächlich verursacht die Isolierung im Kondensator ein wenig »Leckstrom«, aber ein perfekter Kondensator hätte einen unendlichen Widerstand.)

Im Vergleich zum Kondensator ist jeder Wert eines in Reihe geschalteten Widerstands zu vernachlässigen. Egal wie hoch der Wert des Widerstands ist, der Kondensator sorgt für viel mehr Widerstand im Schaltkreis. Das bedeutet, dass der Kondensator fast den gesamten Spannungsabfall in der Schaltung für sich beansprucht und dass damit der Spannungsunterschied zwischen den beiden Seiten des Widerstands gleich Null ist (sofern wir kleine Ungenauigkeiten der Bauteile ignorieren). Abbildung 2-80 veranschaulicht das vielleicht etwas besser.

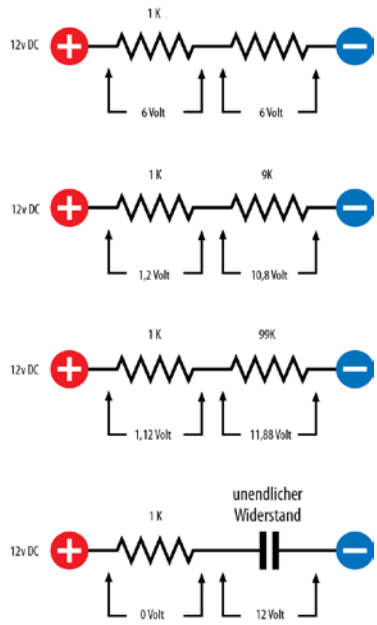


Abbildung 2-80. *Wenn zwei Widerstände in Reihe geschaltet werden, fällt über dem größeren mehr Spannung ab als über dem kleineren. Wenn der größere Widerstand (wie beim Kondensator) unendlich hoch wird, hat der kleinere keinen messbaren Anteil mehr am Spannungsabfall und die Spannung ist an beiden Enden fast gleich hoch.*

Wenn zwei Widerstände in Reihe geschaltet werden, fällt über dem größeren mehr Spannung ab als über dem kleineren. Wenn der größere Widerstand (wie beim Kondensator) unendlich hoch wird, hat der kleinere keinen messbaren Anteil mehr am Spannungsabfall und die Spannung ist an beiden Enden fast gleich hoch. Das solltest du mit echten Widerständen und Kondensatoren ausprobieren – dabei wirst du aber ein kleines Problem haben. Wenn du dein Multimeter auf Gleichspannung stellst, zweigt es für die Messung ein bisschen vom Strom im Stromkreis ab, nur eine kleines Pröbchen. Es klaut sich eine Menge, die so gering ist, dass die Messung der Spannung über einem Widerstand nicht merkbar verfälscht wird. Der interne Widerstand des Multimeters ist größer als die meisten Widerstandswerte. Beachte aber, dass der Innenwiderstand eines Kondensators fast unendlich ist. In diesem Fall wird der Innenwiederstand des Multimeters signifikant. Da es nie ein ideales Messgerät geben kann, genauso wenig wie einen idealen Widerstand oder einen idealen Kondensator, wird dein Multimeter den Stromkreis immer etwas stören, so dass du nur eine ungefähre Messung durchführen kannst.

Wenn du die Spannung eines Kondensators misst, der aufgeladen wurde und dann mit sonst nichts mehr verbunden ist, siehst du, wie der Wert sinkt, weil sich der Kondensator durch das Multimeter entlädt.

THEORIE

Die Zeitkonstante

Du fragst dich vielleicht, ob man genau vorhersagen kann, wie lange es dauert, bis verschiedene Kondensatoren, gepaart mit verschiedenen Widerständen, aufgeladen sind. Gibt es eine Formel, um das zu berechnen?

Natürlich lautet die Antwort ja, aber es nicht ganz so einfach zu messen, weil ein Kondensator sich nicht mit einer konstanten Geschwindigkeit auflädt. Das erste Volt wird sehr schnell gespeichert, das zweite Volt nicht mehr ganz so schnell, das dritte Volt noch langsamer und so weiter. Du kannst dir die Elektronen, die sich auf der Platte eines Kondensators ansammeln, wie Menschen vorstellen, die in einem Kino nach einem Sitzplatz suchen. Je weniger Sitzplätze frei sind, desto länger brauchen sie, um einen zu finden.

Wir beschreiben das mit einer so genannten »Zeitkonstante«. Die Definition ist sehr einfach:

$$TC = R \times C$$

Hierbei ist TC die Zeitkonstante. Ein Kondensator mit C Farad wird durch einen Widerstand mit R Ohm aufgeladen.

Wir kommen noch einmal auf die Schaltung zurück, die du gerade ausprobiert hast, diesmal mit einem Widerstand von 1 kΩ und einem Kondensator mit 1000 µF. Wir müssen diese Werte in Farad und Ohm umschreiben, bevor wir sie in die Formel einsetzen. 1000 µF sind ja 0,001 Farad und 1 kΩ sind 1000 Ohm, also sieht die Formel so aus:

$$TC = 1.000 \times 0{,}001$$

Anders ausgedrückt: TC = 1 – eine sehr leicht zu merkende Lektion:

> ***Ein Widerstand mit 1 kΩ in Reihe mit einem Kondensator mit 1000 µF hat eine Zeitkonstante von 1.***

Heißt das, das der Kondensator nach 1 Sekunden voll aufgeladen ist? Nein, so einfach ist es nicht. Die Zeitkonstante TC gibt die Zeit an, die ein Kondensator braucht, um 63% der Spannung anzunehmen, die an ihm anliegt, wenn er bei null Volt beginnt. (Warum 63%? Die Antwort auf diese Frage ist für dieses Buch zu kompliziert. Du musst andere Quellen über Zeitkonstanten heranziehen, wenn es dich interessiert. Es werden dabei Differentialgleichungen auf dich zukommen.) Hier eine formale Definition, die du auch später noch nachschlagen kannst:

> TC, die Zeitkonstante, ist die Zeit, die ein Kondensator braucht, um 63% der Differenz zwischen seiner aktuellen Ladung und der anliegenden Spannungen anzunehmen. Wenn TC=1 ist, nimmt der Kondensator 63% seiner vollen Ladung in 1 Sekunde an. Wenn TC=2 ist, nimmt der Kondensator 63% seiner vollen Ladung in 2 Sekunden an, und so weiter.

Was passiert, wenn du die Spannung weiter angelegt lässt? Die Geschichte wiederholt sich. Der Kondensator nimmt weitere 63% der verbleibenden Differenz zwischen seiner aktuellen Ladung und der anliegenden Spannung auf.

Stelle dir jemanden vor, der einen Kuchen isst. Beim ersten Bissen hat er einen Bärenhunger und isst 63% des Kuchens in einer Sekunde. Beim zweiten Bissen will er nicht so gierig erscheinen und nimmt nur 63% vom Rest des Kuchens. Weil er nicht mehr soviel Hunger hat, braucht er dafür genau so lange wie für den ersten Bissen. Beim dritten Bissen nimmt er 63% von dem, was noch übrig ist und braucht auch dafür dieselbe Zeit, und so weiter. Er verhält sich wie ein Kondensator, der den Strom frisst. (Abbildung 2-81).

Abbildung 2-81. *Wenn unser Gourmet immer nur 63% des Kuchens auf dem Teller isst, »lädt« er seinen Bauch auf, wie es ein Kondensator tut. Egal wie lange er weitermacht, er hat nie den gesamten Kuchen im Bauch.*

THEORIE

Die Zeitkonstante (Fortsetzung)

Der Kuchenesser hat immer noch einige Krümel übrig, da er nie 100% des verbliebenen Kuchens nimmt. Gleichermaßen erreicht der Kondensator nie die volle Ladung. In einer perfekten Welt mit perfekten Bauteilen würde dieser Vorgang unendlich lange weitergehen.

In der Realität sagen wir eher willkürlich:

> Nach 5 × TC ist der Kondensator fast voll geladen, so dass die verbliebene Differenz belanglos ist.

Der Tabelle liegt die Berechnung (auf zwei Nachkommastellen gerundet) der steigenden Ladung eines Kondensators zugrunde, der in einer Schaltung mit 12 Volt und der Zeitkonstante von 1 Sekunde geladen wird.

So liest man die Tabelle: V1 ist die aktuelle Ladung des Kondensators. Das ziehen wir von der Versorgungsspannung (12 Volt) ab, um die Differenz zu erhalten. Das Ergebnis nennen wir V2. Jetzt nehmen wir 63% von V2, addieren das zur aktuellen Ladung (V1) und nennen das Ergebnis V4. Das ist die neue Ladung, die der Kondensator nach 1 Sekunde hat, also übernehmen wir diesen Wert in die nächste Zeile der Tabelle als neuen Wert für V1.

Jetzt wiederholen wir diesen Vorgang immer wieder. In Abbildung 2-82 wird dies veranschaulicht. Du siehst, dass der Kondensator nach 5 Sekunden 11,92 Volt erreicht hat, was 99% der Spannung der Stromquelle entspricht. Das sollte für alle realen Anforderungen ausreichen.

Wenn du diese Werte überprüfen willst, indem du die Spannung über dem Kondensator misst, während er sich auflädt, vergiss nicht, dass dein Multimeter eine kleine Menge Strom klaut und es daher eine geringe Abweichung gibt, die im Laufe der Zeit zunimmt. Für praktische Zwecke funktioniert das System aber gut genug.

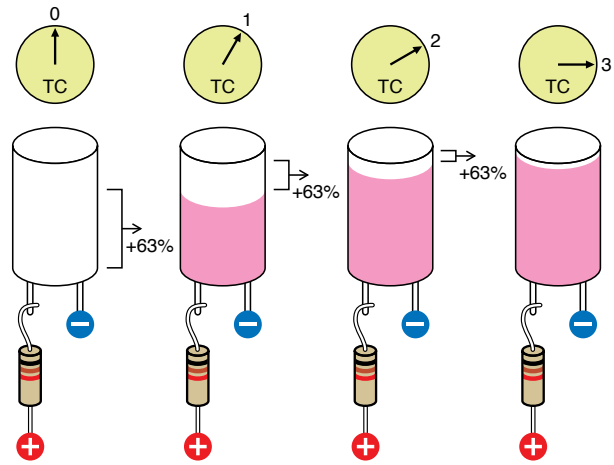


Abbildung 2-82. *Ein Kondensator beginnt mit 0 Volt. Nach einer Zeitkonstante fügt er 63% der anliegenden Spannung hinzu. Nach einer weiteren Zeitkonstante, fügt er weitere 63% des verbleibenden Spannungsunterschieds hinzu und so weiter.*

Zeit in Sekunden	V1: Ladung des Kondensators	V2: 12 – V1	V3: 63% von V2	V4: V1 + V3
0	0,00	12,00	7,56	7,56
1	7,56	4,44	2,80	10,36
2	10,36	1,64	1,03	11,39
3	11,39	0,61	0,38	11,77
4	11,77	0,23	0,15	11,92
5	11,92			

Experiment 10: Transistor-Schalter

Du brauchst:

- Universalnetzteil, Steckbrett, Draht und Multimeter.
- LED. Anzahl: 1.
- Diverse Widerstände.
- Taster, einpolig. Anzahl: 1.
- Transistor, 2N2222 or ähnlich. Anzahl: 1.

Ein Transistor kann einen elektrischen Strom schalten, genau wie ein Relais. Er ist aber viel empfindlicher und vielseitiger, wie dieses erste wirklich einfache Experiment zeigen wird.

Wir fangen mit einem 2N2222-Transistor an, der der meistgebrauchte Halbleiter aller Zeiten ist. (Er wurde 1962 von Motorola vorgestellt und wird seitdem produziert.)

Zuerst solltest du dich mit dem Transistor vertraut machen. Da Motorolas Patente auf den 2N2222 schon lange ausgelaufen sind, kann jede Firma ihre eigene Version davon herstellen. Manche Typen sind von einem kleinen schwarzen Kunststoffblock umgeben, andere von einem kleinen Metalldöschen. (Siehe Abbildung 2-83.) In beiden Fällen ist ein Stück Silizium enthalten, dass in drei Abschnitte, Kollektor, Basis und Emitter, unterteilt ist. Ich werde ihre Funktion etwas später genau erklären. Für den Anfang musst du nur wissen, dass bei dieser Transistorart der Kollektor einen Strom erhält, die Basis ihn kontrolliert und der Emitter ihn aussendet.

Nimm dein Steckbrett zur Hand, um die Schaltung wie in Abbildung 2-85 aufzubauen. Achte darauf, den Transistor richtig herum einzustecken! (Siehe Abbildung 2-84.) Bei den drei Herstellern, die ich im Einkaufszettel genannt habe, sollte die flache Seite nach rechts zeigen (wenn es ein Transistor im Plastikgehäuse ist) oder die kleine Nase nach unten links (beim Metallgehäuse).

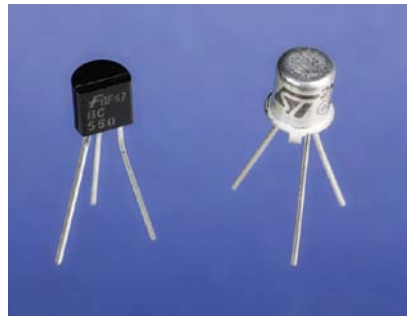


Abbildung 2-83. *Ein normaler Transistor hat als Gehäuse ein Metalldöschen oder ein Stück Plastikspritzguss. Im Datenblatt des Herstellers sind die drei Anschlussbeinchen namentlich gekennzeichnet. Als Orientierungspunkte dienen dabei die flache Seite eines schwarzen Plastiktransistors oder die Lasche eines Metalltransistors.*

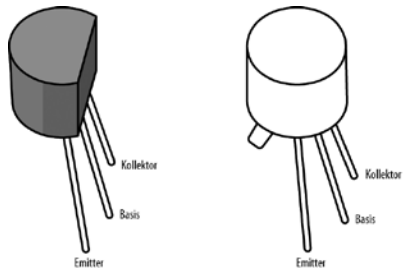


Abbildung 2-84. *Der 2N2222-Transistor wird in beiden Gehäuseformen angeboten. Links: RadioShack oder Fairchild. Rechts: STMicroelectronics (achte auf die kleine Lasche unten links). Wenn du eine andere Marke hast, musst du im Datenblatt nachsehen. Stecke den Transistor mit der flachen Seite nach rechts oder der Lasche nach unten links zeigend (von oben gesehen) in dein Steckbrett.*

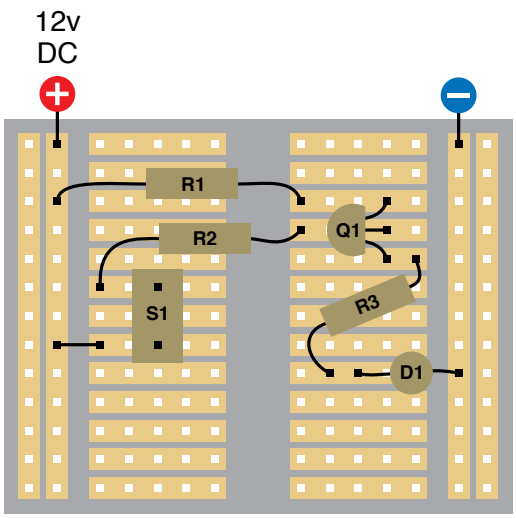


Abbildung 2-85. *Der Transistor blockiert die Spannung, die über R1 ankommt. Wenn der Taster S1 gedrückt wird, sagt dies dem Transistor, dass er den Strom fließen lassen darf. Achte darauf, dass Transistoren in Schaltplänen immer mit Q bezeichnet werden.*

S1: Taster, Aus-(Ein)
R1: 180 Ω
R2: 10 kΩ
R3: 680 Ω
Q1: 2N2222 oder ähnlich
D1: LED

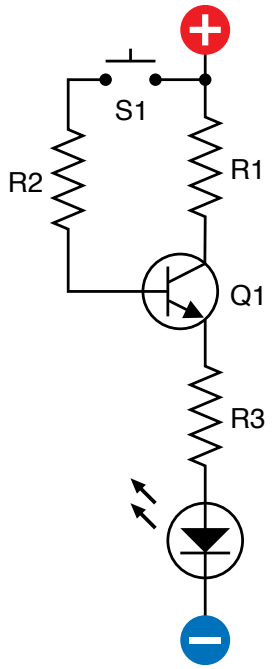


Abbildung 2-86. *Das ist dieselbe Schaltung wie in der Steckbrett-Zeichnung in Abbildung 2-85.*

Zu Beginn sollte die LED nicht leuchten. Drücke dann auf den Taster. Die LED sollte hell leuchten. Der Strom fließt hier über zwei Wege. Sieh dir den Schaltplan in Abbildung 2-86 an, der denselben Schaltkreis deutlicher zeigt. Ich habe den Pluspol oben und den Minuspol unten abgebildet (so wie es in den meisten Schaltplänen gemacht wird), weil es die Funktion dieser konkreten Schaltung verdeutlicht. Wenn du den Plan auf der Seite liegend anschaust, ist die Ähnlichkeit mit dem Aufbau auf dem Steckbrett leichter zu erkennen.

Durch R1 gelangt die Spannung zum oberen Pin (dem Kollektor) des Transistors. Der Transistor lässt nur eine winzige Leckspannung durch, also bleibt die LED dunkel. Wenn du auf den Taster drückst, wird die Spannung auch über einen weiteren Pfad, nämlich durch R2 an den mittleren Pin (die Basis) des Transistors, übertragen. So bekommt der Transistor das Signal, seinen Halbleiterschalter zu öffen, und damit Strom durch seinen dritten Pin (den Emitter) abfließen zu lassen, und zwar durch R3 zur LED.

Du kannst mit deinem Multimeter (Gleichspannungsmessung) die Spannung an verschiedenen Punkten im Stromkreis messen. Halte die negative Messspitze an den Minuspol der Spannungsquelle. Berühre dann mit der positiven Messspitze nacheinander den oberen, mittleren und unteren Pin des Transistors. Du solltest eine Änderung der Spannung beobachten, wenn du auf den Taster drückst.

Schalten mit der Fingerspitze

Jetzt kommt noch etwas Außergewöhnlicheres. Entferne R2 und den Taster und setze zwei kurze Drahtbrücken wie in Abbildung 2-87 ein. Der obere Draht ist mit dem Pluspol der Spannungsquelle verbunden, der untere Draht mit dem mittleren Pin des Transistors (der Basis). Berühre jetzt mit deiner Fingerspitze die zwei Drähte. Die LED sollte wieder aufleuchten, aber nicht so hell wie vorher. Lecke an deiner Fingerspitze und versuche es noch einmal. Die LED sollte heller leuchten.

Benutze niemals beide Hände

Mit der Fingerspitze zu schalten ist sicher, wenn der Strom nur durch deinen Finger fließt. Du fühlst ihn nicht einmal, weil es 12 Volt Gleichspannung aus einem Netzteil mit 1 Ampere oder weniger sind. Aber es ist keine gute Idee, den Finger einer Hand an einen Draht zu halten und den Finger deiner anderen Hand an den anderen Draht. Dadurch würde der Strom durch deinen Körper fließen. Die Möglichkeit, dadurch zu Schaden zu kommen, ist zwar sehr klein, aber du solltest niemals Strom von einer Hand zur anderen durch dich hindurch fließen lassen. Achte auch darauf, dass die Kabel beim Berühren nicht deine Haut durchstoßen.

Dein Finger leitet positive Spannung an die Basis des Transistors. Deine Haut hat einen hohen Widerstand, aber der Transistor reagiert trotzdem. Er schaltet nicht nur die LED ein und aus. Er *verstärkt den Strom*, der an der Basis anliegt. Das ist eine grundlegenes Erkenntnis: *Ein Transistor verstärkt alle Änderungen der Stromstärke, die du der Basis zuführst*.

Schau dir Abbildung 2-88 an, um deutlicher zu sehen, was passiert.

Wenn du den Abschnitt »Hintergrundwissen: Positiv und negativ« in Kapitel 1 gelesen hast, weißt du, dass es so etwas wie positive Spannung nicht gibt. Wir haben eigentlich nur negative Spannung (durch den Druck der freien Elektronen erzeugt) und eine Abwesenheit von negativer Spannung (wo weniger freie Elektronen sind). Weil aber die Vorstellung eines Stromflusses von positiv zu negativ überall in den Köpfen vorherrschte, bevor das Elektron entdeckt wurde, und weil das Innenleben eines Transistors auch »Löcher« (Abwesenheit von Elektronen) beinhaltet, die man sich als positiv vorstellen kann, können wir immer noch so tun, als flösse der Strom von Plus zu Minus. Siehe den folgenden Abschnitt »Essentials: Alles über NPN- und PNP-Transistoren« für mehr Einzelheiten.

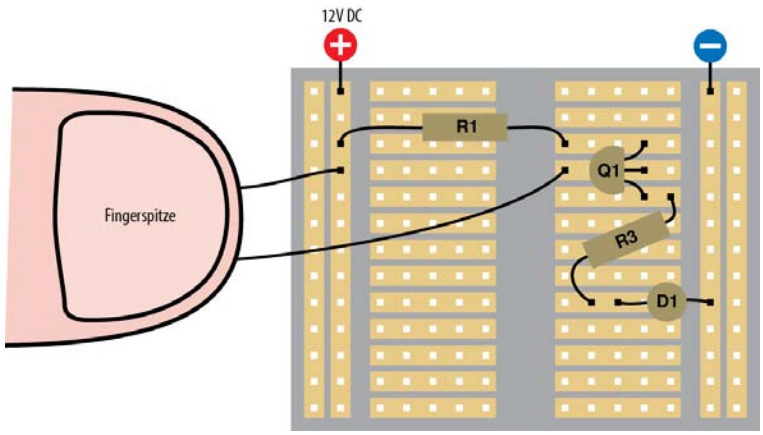


Abbildung 2-87

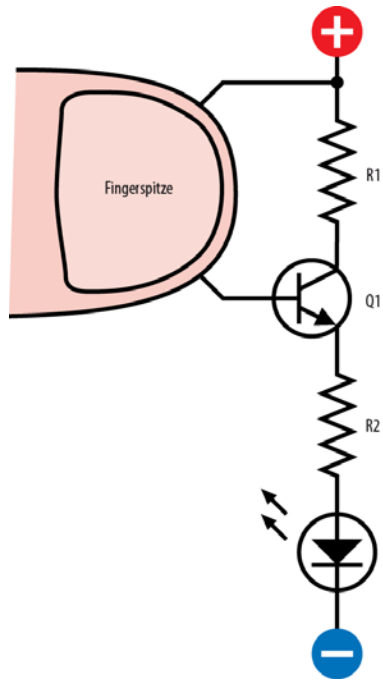


Abbildung 2-88. *Diese zwei Zeichnungen zeigen dieselben Bauteile wie vorher, aber mit einer Fingerspitze anstelle von R2. Auch wenn nur eine sehr niedrige Spannung die Basis des Transistors erreicht, ist das genug, um den Transistor zu aktivieren.*

ESSENTIALS

Alles über NPN- und PNP-Transistoren

Ein Transistor ist ein Halbleiter. Das bedeutet, dass er manchmal Strom leitet und manchmal nicht. Sein Innenwiderstand verändert sich in Abhängigkeit zur Energie, die an der Basis anliegt.

NPN- und PNP-Transistoren sind bipolare Halbleiter. Sie enthalten zwei geringfügig unterschiedliche Arten von Silizium und leiten mit beiden unterschiedlich gepolten Ladungsträgern: Löchern und Elektronen.

Der NPN-Typ ist ein Sandwich mit Silizium der P-Sorte in der Mitte. Der PNP-Typ ist ein Sandwich mit Silizium der N-Sorte in der Mitte. Wenn du mehr über die Fachbegriffe und das Verhalten von Elektronen an np- oder pn-Übergängen wissen willst, musst du in einer anderen Quelle nachlesen. Das ist für dieses Buch zuviel Fachwissen. Du musst dir nur Folgendes merken:

- Alle Bipolartransistoren haben drei Anschlüsse: Kollektor, Basis und Emitter, abgekürzt mit C, B und E (auf dem Datenblatt, wo die Beinchen namentlich gekennzeichnet sind).
- NPN-Transistoren werden durch *positive* Spannung an der Basis relativ zum Emitter aktiviert.
- PNP-Transistoren werden durch *negative* Spannung an der Basis relativ zum Emitter aktiviert.

Im Ruhezustand blockieren beide Typen den Stromfluss zwischen dem Kollektor und Emitter, genau wie ein einpoliges Relais, bei dem die Kontakte normalerweise offen sind. (In Wirklichkeit fließt eine sehr kleine Menge Strom, der als »Leckstrom« bezeichnet wird.)

Du kannst dir einen Bipolartransistor so vorstellen, als hätte er einen kleinen Schalter eingebaut, wie in Abbildungen 2-89 und 2-90 zu sehen. Wenn der Schalter gedrückt wird, lässt er einen starken Strom fließen. Um den Schalter zu drücken, speist du einen viel schwächeren Strom in die Basis ein, indem du dort eine geringe Spannung anlegst. Bei einem NPN-Transistor ist diese Steuerspannung positiv. Bei einem PNP-Transistor ist die Steuerspannung negativ.

Grundlagen des NPN-Transistors

- Um den Stromfluss vom Kollektor zum Emitter zu starten, lege eine relativ positive Spannung an der Basis an.
- Im Schaltzeichen zeigt der Pfeil von der Basis zum Emitter und gibt die Richtung des positiven Stroms an.
- Die Basis muss mindestens 0,6 Volt »positiver« als der Emitter sein, um den Stromfluss zu starten.
- Der Kollektor muss »positiver« als der Emitter sein.

Grundlagen des PNP-Transistors

- Um den Stromfluss vom Emitter zum Kollektor zu starten, lege eine relativ negative Spannung an der Basis an.
- Im Schaltzeichen zeigt der Pfeil vom Emitter zur Basis und gibt die Richtung des positiven Stroms an.
- Die Basis muss mindestens 0,6 Volt »negativer« als der Emitter sein, um den Stromfluss zu starten.
- Der Emitter muss »positiver« als der Kollektor sein.

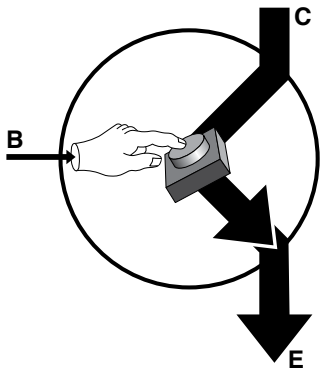


Abbildung 2-89. *Du kannst dir einen Bipolartransistor so vorstellen, als ob er eine Taste enthielt, der den Kollektor mit dem Emitter verbindet. Bei einem NPN-Transistor drückt ein kleines positives Potential die Taste.*

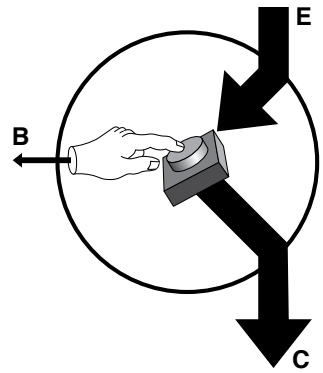


Abbildung 2-90. *In einem PNP-Transistor hat ein kleines negatives Potential dieselbe Wirkung. Der Pfeil zeigt in die Richtung des »positiven Stromflusses«.*

ESSENTIALS

Alles über NPN- und PNP-Transistoren (Fortsetzung)

Grundlagen aller Transistoren

- Schließe niemals eine Stromquelle direkt an einen Transistor an. Bei einem zu starken Strom brennt er durch.
- Schütze einen Transistor mit einem Widerstand, so wie du auch eine LED schützt.
- Vermeide es, einen Transistor falsch herum an eine Spannung anzuschließen.
- Manchmal ist ein NPN-Transistor für eine Schaltung praktischer, manchmal geht es mit einem PNP-Transistor einfacher. Beide eignen sich als Schalter und Verstärker. Der einzige Unterschied ist, dass du an die Basis eines NPN-Transistors eine relativ positive Spannung und an die Basis eines PNP-Transistors eine relativ negative Spannung anlegst
- PNP-Transistoren werden eher selten verwendet, hauptsächlich, weil sie in den Anfangstagen der Halbleiter schwieriger herzustellen waren. Man hat sich daran gewöhnt, Schaltungen mit NPN-Transistoren aufzubauen.
- Vergiss nicht, dass Bipolartransistoren den Strom verstärken, nicht die Spannung. Eine kleine Abweichung im Strom an der Basis erzeugt eine große Änderung der Stromstärke zwischen Emitter und Kollektor.
- In Schaltplänen werden Transistoren manchmal mit Kreisen und manchmal ohne dargestellt. In diesem Buch benutze ich Kreise, um sie besonders hervorzuheben. Siehe Abbildungen 2-91 und 2-92.
- In Schaltplänen kann der Emitter oben und der Kollektor unten liegen oder genau andersherum. Die Basis kann links oder rechts liegen, je nachdem, wie es für den Zeichner des Schaltplans am praktischsten war. Achte auf den Pfeil im Transistorsymbol, damit zu weißt, wo oben ist und ob es sich um einen NPN- oder PNP-Transistor handelt. Du kannst einen Transistor beschädigen, wenn du ihn falsch herum anschließt.
- Es gibt Transistoren in verschiedenen Größen und Ausführungen. Bei vielen kann man nicht sagen, welches Beinchen zu Emitter, Kollektor und Basis führt. Manche Transistoren haben auch keine aufgedruckte Bezeichnung. Sieh nach, ob die Anschlüsse auf der Verpackung des Transistors entsprechend gekennzeichnet sind, bevor du diese im Müll entsorgst.
- Einige Multimeter haben eine Funktion, die Emitter, Kollektor und Basis für dich herausfinden kann, wenn du vergessen hast, welches Beinchen wozu gehört. Schau dazu in der Anleitung deines Multimeters nach.

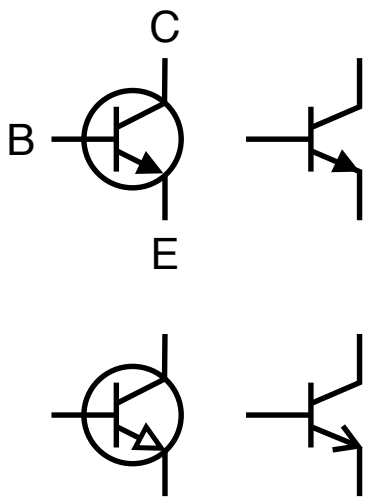


Abbildung 2-91. *Das Schaltzeichen für einen NPN-Transistor enthält immer einen Pfeil, der von der Basis zum Emitter zeigt. Manche Leute zeichnen einen Kreis um den Transistor, andere nicht. Der Pfeil sieht auch nicht immer gleich aus. Die Bedeutung ist aber immer dieselbe. Ich benutze in diesem Buch die Version oben links.*

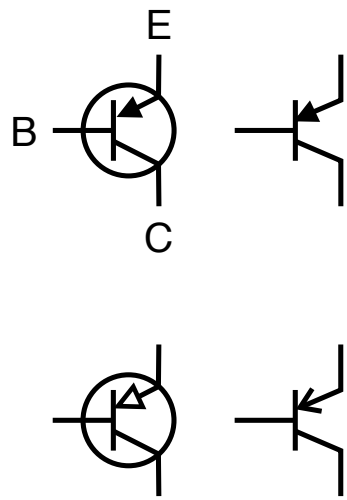


Abbildung 2-92. *Das Schaltzeichen für einen PNP-Transistor enthält immer einen Pfeil, der vom Emitter zur Basis zeigt. Manche Leute zeichnen einen Kreis um den Transistor, andere nicht. Der Pfeil sieht auch nicht immer gleich aus. Die Bedeutung ist aber immer dieselbe. Ich benutze in diesem Buch die Version oben links.*

HINTERGRUNDWISSEN

Die Anfänge des Transistors

Auch wenn einige Historiker den Ursprung des Transistors auf die Erfindung der Diode (durch die Strom in eine Richtung fließen kann, in die andere Richtung aber blockiert wird) zurückführen, gibt es keinen Zweifel daran, dass der erste funktionierende Transistor 1948 in den Bell Laboratories von John Bardeen, William Shockley und Walter Brattain (Abbildung 2-93) entwickelt wurde.

Shockley war der Teamleiter und hatte erkannt, wie wichtig ein Halbleiterschalter möglicherweise sein könnte. Bardeen war der Theoretiker und Brattain setzte die Ideen in die Tat um. Dies war eine sehr produktive Zusammenarbeit, jedenfalls bis zu den ersten Erfolgen. Zu diesem Zeitpunkt setzte Shockley alles in Bewegung, um den Transistor exklusiv unter seinem eigenen Namen zu patentieren. Seine Mitarbeiter waren davon selbstverständlich nicht begeistert.

Ein weit verbreitetes Pressefoto war der Zusammenarbeit ebenfalls nicht sehr zuträglich. Es zeigte Shockley in der Bildmitte an einem Mikroskop sitzend, als ob er die praktische Arbeit erledigt hätte, während die anderen beiden hinter ihm standen, wodurch der Eindruck entstand, dass sie eine kleinere Rolle gespielt hätten. Tatsächlich war Shockley als Abteilungsleiter selten im Labor, wo die tatsächliche Arbeit getan wurde.

Die produktive Zusammenarbeit löste sich schnell auf. Brattain bat darum, in ein anderes Labor bei AT&T versetzt zu werden. Bardeen wechselte an die Universität von Illinois, um sich der theoretischen Physik zu widmen. Shockley verließ später die Bell Labs und gründete Shockley Semiconductor im späteren Silicon Valley. Seine Ambitionen waren aber mit den technischen Möglichkeiten seiner Zeit nicht umsetzbar. Seine Firma stellte nie ein rentables Produkt her.

Acht Mitarbeiter in Shockleys Firma hintergingen ihn schließlich, indem sie kündigten und ihre eigene Firma, Fairchild Semiconductor, gründeten, die als Hersteller von Transistoren und später auch von Integrierten Schaltkreisen sehr erfolgreich wurde.

Abbildung 2-93. *Die von der Nobel-Stiftung bereitgestellten Fotos zeigen, von links nach rechts, John Bardeen, William Shockley und Walter Brattain. Für ihre gemeinsame Arbeit an der Entwicklung des ersten funktionierenden Transistors der Welt im Jahre 1948 erhielten sie 1956 den Nobelpreis.*

ESSENTIALS

Transistoren und Relais

Eine Einschränkung von NPN- und PNP-Transistoren ist die, dass sie von Natur aus »ausgeschaltet« sind, bis man sie »einschaltet«. Sie verhalten sich wie ein schließender Taster, der den Strom nur so lange durchleitet, wie er gedrückt bleibt. Sie verhalten sich in der Regel nicht wie ein schließender Schalter, der eingeschaltet bleibt, bis man ein Signal zum Ausschalten anlegt.

Ein Relais hat mehr Schaltmöglichkeiten. Es kann ein Schließer oder ein Öffner sein oder einen Wechselschalter enthalten, so dass du zwischen zwei »Ein«-Stellungen wählen kannst. Es kann auch einen zweipoligen Schalter enthalten, der zwei vollständig voneinander getrennte Verbindungen schließen (oder trennen) kann, wenn es erregt wird. Aufbauten mit nur einem Transistor können keine Funktion zum Umschalten oder Mehrpoligkeit leisten. Man kann aber komplexere Schaltungen aufbauen, die dieses Verhalten nachbilden.

Hier eine Liste mit Eigenschaften von Transistor und Relais:

	Transistor	Relais
Langzeitzuverlässigkeit	Exzellent	Begrenzt
Zweipoligkeit und Umschalten möglich	Nein	Ja
Kann Starkstrom schalten	Begrenzt	Ja
Kann Wechselstrom schalten	In der Regel nicht	Ja
Kann mit Wechselstrom ausgelöst werden	In der Regel nicht	Wahlweise
Eignung für Miniaturisierung	Exzellent	Stark begrenzt
Hitzeempfindlichkeit	Hoch	Mäßig
Kann sehr schnell schalten	Exzellent	Begrenzt
Preisvorteil bei niedriger Spannung und Stromstärke	Ja	Nein
Preisvorteil bei hoher Spannung und Stromstärke	Nein	Ja
Leckstrom, wenn »abgeschaltet«	Ja	Nein

Die Wahl zwischen Relais und Transistoren hängt von der geplanten Nutzung ab.

THEORIE

Die Stromstärke

Wenn du genauer verstehen willst, wie ein Transistor funktioniert, solltest du diesen kleinen Test ausprobieren. Er zeigt dir ganz genau das Verhalten und die Grenzen des 2N2222-Transistors aus dem vorherigen Experiment.

Ich hatte angemerkt, dass in einem NPN-Transistor der Kollektor immer positiver als der Emitter sein sollte und dass die Basis ein Potential irgendwo zwischen diesen beiden Spannungen aufweisen sollte. Abbildung 2-94 zeigt dieses eher ungenaue Verhältnis. Jetzt will ich anstelle dieser allgemeinen Aussagen Zahlen einsetzen.

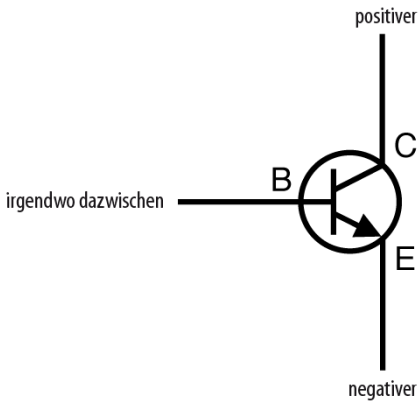


Abbildung 2-94. *Damit ein NPN-Transistor richtig funktioniert, musst du diese Spannungsverhältnisse einhalten.*

Sieh dir den Schaltplan in Abbildung 2-95 an und achte auf die Werte der Bauteile. Du stellst fest, dass der Gesamtwiderstand oberhalb des Transistors, R1 + R2, genau so groß ist wie der Gesamtwiderstand unterhalb, R3 + R4. Also sollte das Potential an der Basis des Transistors genau in der Mitte zwischen den beiden Extremen liegen – jedenfalls bis du mit dem Potentiometer P1 die Spannung an der Basis nach oben oder unten verstellst.

Die zwei Widerstände mit 180 Ω, R1 und R3, schützen den Transistor vor zu großer Stromstärke. Die zwei Widerstände mit 10 kΩ, R2 und R4, schützen die Basis, wenn das Potentiometer ganz auf- oder zugedreht ist.

Ich möchte, dass du dir ansiehst, was der Transistor macht. Miss dazu den Strom, der an der Position A1 in die Basis fließt, und den Strom, der an der Position A2 aus Emitter fließt. Dafür wäre es wirklich hilfreich, wenn du zwei Multimeter hättest. Da das eher unwahrscheinlich ist, zeigt dir der Steckbrettaufbau in Abbildungen 2-96 und 2-97, wie du mit einem Multimeter zwischen beiden Punkten wechselst.

Denke daran, dass du den Strom durch das Multimeter fließen lassen musst, um Milliampere zu messen. Das bedeutet, dass das Multimeter in den Stromkreis eingesetzt werden muss und dass du die Verbindung an dieser Stelle wieder herstellen musst, wenn du das Messgerät wegnimmst. Zum Glück ist es auf einem Steckbrett sehr einfach, Drähte zu entfernen und auszutauschen. Um die Drähte an das Potentiometer anzuschließen, musst du möglicherweise wieder auf Krokodilklemmen zurückgreifen.

Beginne mit dem Potentiometer auf der Mittelstellung. Miss an den Punkten A1 und A2. Drehe das Potentiometer ein wenig höher und miss wieder die Stromstärke an den zwei Punkten. Im Folgenden findest du eine Tabelle mit echten Messwerten, die ich mit zwei Digitalmultimetern gleichzeitig an den zwei Punkten gemessen habe.

Milliampere durch den Punkt A1	Milliampere durch den Punkt A2
0,01	1,9
0,02	4,9
0,03	7,1
0,04	9,9
0,05	12,9
0,06	15,5
0,07	17,9
0,08	19,8
0,09	22,1
0,10	24,9
0,11	26,0
0,12	28,3

Das ist eine deutlich erkennbares Verhältnis. Der Strom, der aus dem Emitter des Transistors durch den Punkt A2 abgegeben wird, ist etwa 24-mal so hoch wie der Strom durch den Punkt A1 in die Basis hinein. Das Verhältnis des Stroms aus dem Emitter eines NPN-Transistors zum eingespeisten Strom in die Basis nennt man den *Beta-Wert* des Transistors. Der Beta-Wert drückt die Verstärkung durch den Transistor aus.

Dieses Verhältnis bleibt so lange konstant, bis du es etwas übertreibst. Über 0,12 mA wird dieser Transistor »gesättigt«, was bedeutet, dass sein Innenwiderstand nicht weiter sinken kann.

THEORIE

Die Stromstärke (Fortsetzung)

Mit meinem kleinen Experiment habe ich herausgefunden, dass die maximale Stromstärke bei A2 33 mA beträgt. Eine einfache Rechnung mit dem Ohmschen Gesetz zeigte mir, dass der Innenwiderstand des Transistors dabei fast Null war. Das ist der Grund, warum man einen Transistor mit einem zusätzlichen Widerstand in der Schaltung schützen sollte. Wenn man das nicht täte, würde der niedrige Innenwiderstand einen sehr starken Strom ermöglichen, der den Transistor sofort durchbrennen würde.

Was ist mit dem anderen Ende des Bereichs? Wenn der Transistor nur 1,9 mA durchleitet, hat er einen Innenwiderstand von ca. 6000 Ω. Die Schlussfolgerung daraus ist, dass der Innenwiderstand zwischen Null und 6000 Ω schwankt, je nachdem wieviel Strom am Transistor anliegt.

Genug der Theorie. Was können wir jetzt Lustiges oder Nützliches (oder beides) mit einem Transistor machen? Zum Beispiel Experiment 11!

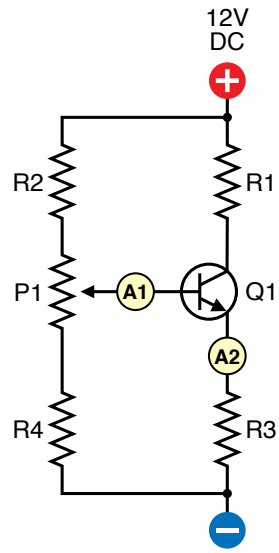


Abbildung 2-95. *Das ist im Wesentlichen dieselbe Schaltung wie vorher, mit einem zusätzlichen Potentiometer und ohne die LED. Werte der Bauteile:*

R1: 180 Ω
R2: 10 kΩ
R3: 180 Ω
R4: 10 kΩ
P1: 1-MΩ-Potentiometer, linear
Q1: 2N2222-Transistor

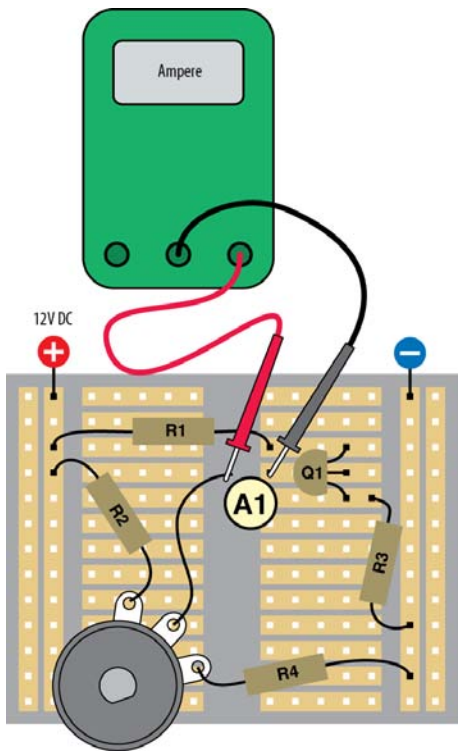


Abbildung 2-96. *Das Multimeter misst den Strom, der am Punkt A1 vom Potentiometer in die Basis des Transistors fließt (siehe Abbildung 2-95).*

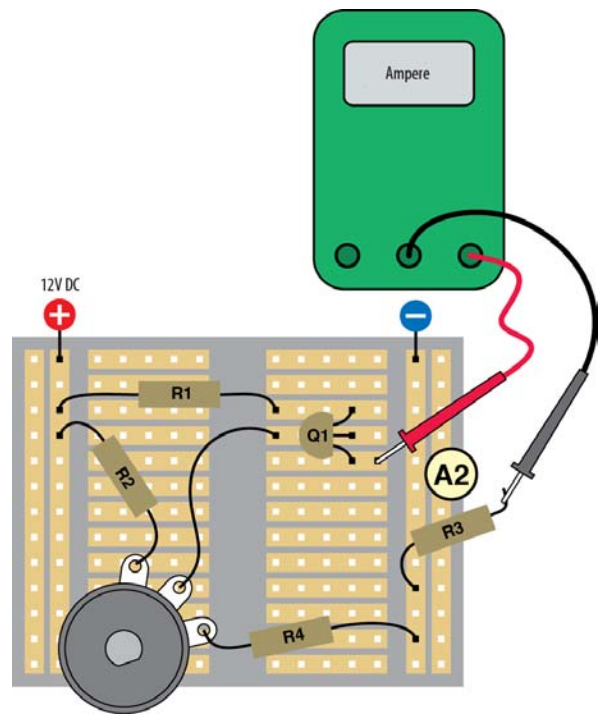


Abbildung 2-97. *Das eine Ende des Widerstands R3 wurde aus dem Steckboard gezogen, so dass das Multimeter jetzt den Strom misst, der am Punkt A2 aus dem Emitter in R3 fließt.*

Experiment 11: Ein modulares Projekt

Du brauchst:

- Universalnetzteil, Steckbrett, Draht und Multimeter.
- LED. Anzahl: 1.
- Diverse Widerstände.
- Diverse Kondensatoren.
- Transistor, 2N2222 or ähnlich. Anzahl: 1.
- Programmierbarer Unijunctiontransistor (PUT), 2N6027. Anzahl: 2.
- Miniatur-Lautsprecher mit 8 Ω. Anzahl: 1.

Bis hierhin habe ich kleine Schaltungen vorgestellt, die nur sehr einfache Funktionen erfüllen. Jetzt kommen wir aber mal zu Modulen, die zusammengesetzt werden können, um Geräte zu bauen, die etwas mehr können.

Das Endergebnis dieses Experiments wird eine Schaltung sein, die Lärm wie eine kleine Sirene macht und für einen Einbruchsalarm eingesetzt werden könnte. Vielleicht brauchst oder willst du keine Alarmanlage, aber der vierstufige Entwicklungsprozess ist wichtig, da er zeigt, wie einzelne Gruppen von Bauteilen dazu gebracht werden können, miteinander zu kommunizieren.

Ich fange damit an, dass ich zeige, wie man mit einem Transistor eine Halbleiterversion der oszillierenden Schaltung aufbaut, die du in Experiment 8 mit einem Relais hergestellt hast. Wie du vielleicht noch weißt, war das Relais so verkabelt, dass die Spule über die Relaiskontakte mit Strom versorgt wurde. Sobald das Relais unter Strom stand, öffnete es die Kontakte und unterbrach so seine eigene Stromversorgung. Nach dem Abfallen der Kontakte stellten diese die Verbindung wieder her und der Vorgang wiederholte sich.

Es gibt keine Möglichkeit, das mit einem einzigen bipolaren Transistor nachzubauen. Dafür bräuchtest du zwei davon, die sich gegenseitig ein- und ausschalten. Wie das genau funktioniert, ist aber sehr schwer zu verstehen. Eine einfachere Möglichkeit besteht darin, ein anderes Teil, einen programmierbaren Unijunctiontransistor (PUT) zu benutzen.

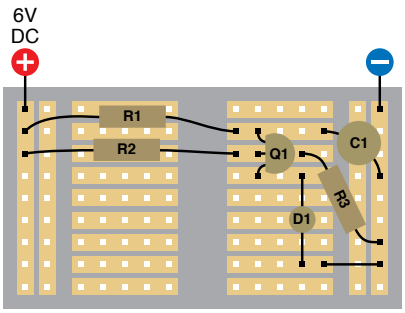


Abbildung 2-98. *Wenn du diese Bauteile zusammenschließt und den Strom einschaltest, sollte die LED blinken.*

R1: 470 kΩ
R2: 15 kΩ
R3: 27 kΩ
C1: 2,2-µF-Elko
D1: LED
Q1: 2N6027 Programmierbarer Unijunctiontransistor

Unijunctionstransistoren wurden in den 1950er Jahren entwickelt. Sie wurden aber immer weniger verwendet, seitdem einfache Siliziumchips in der Lage waren, dieselben Funktionen genauer und billiger zu erfüllen. Der sogenannte programmierbare Unijunctiontransistor ist aber immer noch einfach zu bekommen und wird oft in Lampendimmern und Motorsteuerungen eingesetzt. Sein Hauptnutzen ist die Erzeugung von Pulsfolgen, damit ist er perfekt für unsere Zwecke geeignet.

Wenn du die Bauteile so wie in Abbildung 2-98 dargestellt verbindest, sollte die LED blinken, sobald du den Strom einschaltest.

Beachte, dass die Schaltung mit 6 Volt läuft. Wenn du sie mit 12 Volt betreibst, wird nichts kaputtgehen, aber je mehr Teile wir noch hinzufügen, desto schneller wirst du erkennen, dass sie mit 6 Volt besser als mit 12 Volt läuft. Wenn du den folgenden Abschnitt »Essentials: Alles über programmierbare Unijunctiontransistoren« liest, erfährst du, wie die Schaltung funktioniert.

ESSENTIALS

Alles über programmierbare Unijunctiontransistoren

Das Schaltzeichen für einen programmierbaren Unijunctiontransistoren (PUT) sieht ganz anders aus als das Symbol für einen Bipolartransistor und seine Teile haben auch andere Namen. Dennoch hat er eine ähnliche Funktion als Halbleiterschalter. Das Schaltzeichen und die Namen der drei Anschlüsse sind in Abbildung 2-99 zu sehen.

Das ist einer der seltenen Fälle (vielleicht der einzige im ganzen Bereich der Elektronik), in dem es keine verwirrenden Variationen des Schaltzeichens gibt. Ein PUT sieht offenbar immer so aus, wie ich ihn hier gezeichnet habe. Ich persönlich finde, dass es mit einem Kreis außen herum deutlicher wäre, aber das macht wohl niemand, also lasse ich es auch sein.

Der 2N6027 ist vermutlich der meistbenutzte PUT und wohl auch bezüglich der Gehäuseform und Anschlüsse standardisiert. Ich habe ihn auch nur in einem Plastikmodul gesehen, nicht in einem Metalldöschen. Abbildung 2-100 zeigt die Funktion der Beinchen, wie sie bei einem von Motorola oder On Semiconductor hergestellten 2N6027 aussehen würde. Bei anderen Herstellern findest du Informationen hierzu im Datenblatt.

Beachte, dass die flache Seite des Plastikmoduls verglichen mit dem Bipolartransistor 2N2222 genau in die andere Richtung zeigt, wenn beide Teile auf gleiche Weise eingesetzt werden.

Der PUT blockiert den Strom, bis sein Innenwiederstand sinkt und den Stromfluss von »Anode« zu »Kathode« freigibt. So gesehen ähnelt er stark einem NPN-Transistor, aber es besteht ein großer Unterschied darin, unter welchen Bedingungen der PUT seinen Widerstand senkt. Die Spannung an der Anode bestimmt, wann der PUT den Strom fließen lässt.

Nehmen wir an, du fängst mit 1 Volt an der Anode an. Dann erhöhst du diese Spannung. Der Transistor blockiert sie, bis die Anode sich 6 Volt nähert. Plötzlich überwindet dieser Druck den Widerstand und der Strom schießt von der Anode zur Kathode. Wenn die Spannung wieder absinkt, kehrt der Transistor in seinen Ausgangszustand zurück und blockiert den Strom.

Ich habe noch eine Version der »Finger auf dem Schalter«-Zeichnung angefertigt, um dieses Prinzip zu verdeutlichen. Die Spannung an der Anode ist selbst dafür verantwortlich, dass der Schalter gedrückt wird, der den Weg zur Kathode öffnet. Siehe Abbildung 2-101.

Abbildung 2-99. *Das Schaltzeichen für einen PUT.*

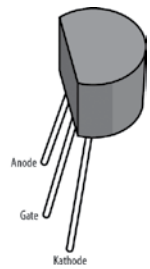


Abbildung 2-100. *Bei PUTs, die von On Semiconductor und Motorola hergestellt werden, haben die Anschlüsse diese Belegung.*

ESSENTIALS

Alles über programmierbare Unijunctiontransistoren (Fortsetzung)

Daher fragst du dich vielleicht, wozu das Gate gut ist. Du kannst es dir so vorstellen, dass es dem Finger auf dem Schalter »hilft«. Das Gate ist ganz konkret der »programmierbare« Teil eines PUT. Wenn du eine Spannung für das Gate wählst, legst du damit den Grenzwert fest, an dem der Strom fließen kann.

Hier eine einfache Zusammenfassung:

- Die Anode muss positiver als die Kathode sein und das Gate sollte zwischen diesen beiden Extremen liegen.
- Wenn die Anodenspannung über einen Grenzwert steigt, bricht der Strom durch und fließt von der Anode zur Kathode.
- Wenn die Anodenspannung zurück unter den Grenzwert fällt, unterbricht der Transistor den Strom.
- Die Spannung, die am Gate anliegt, legt fest, wie hoch der Grenzwert ist.
- Die Gatespannung wird mit zwei Widerständen festgelegt, die in der einfachen Schaltung in Abbildung 2-102 als R1 und R2 zu sehen sind. Typischerweise hat jeder Widerstand etwa 20 kΩ. Der PUT wird vor der Gesamtspannung durch R3 geschützt, der einen hohen Wert haben kann (100 kΩ oder mehr), weil der Transistor nur einen sehr kleinen Ruhestrom braucht.
- Dein Eingangssignal gibst du in Form einer positiven Spannung an der Anode ein. Wenn sie den Grenzwert überschreitet, fließt sie über die Kathode ab und kann ein geeignetes Ausgabegerät versorgen.

Es bleibt nur noch ungeklärt, wie man einen PUT zum Oszillieren bringt, um eine Folge von Ein- und Ausschaltimpulsen zu erzeugen. Die Antwort liegt im Kondensator, den du am Anfang von Experiment 11 auf dem Steckbrett in die Schaltung eingesetzt hast.

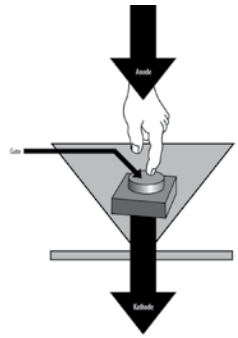


Abbildung 2-101. *Wenn die Anodenspannung an einem PUT einen Grenzwert überschreitet (der von einer Richtspannung am Gate bestimmt wird), bricht der Strom durch und fließt von der Anode zur Kathode. So gesehen verhält sich die Anodenspannung, als würde sie selbst (mit Unterstützung der Steuerspannung am Gate) die Taste drücken, um die Verbindung im PUT herzustellen.*

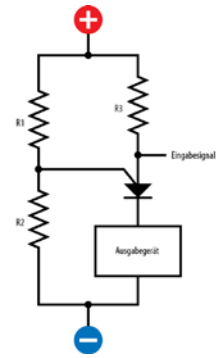


Abbildung 2-102. *Dieser einfache Schaltplan zeigt, wie man einen PUT benutzt. R1 und R2 bestimmen die Spannung am Gate, die den Grenzpunkt für die Einspeisung an der Anode festlegt. Bei einem Wert über dieser Grenze fließt der Strom von Anode zu Kathode.*

Schritt 1: Langsame Oszillation

Abbildung 2-103 zeigt den Schaltplan der vorherigen PUT-Schaltung auf dem Steckbrett aus Abbildung 2-98. Er wurde so gezeichnet, dass er dem Aufbau so weit wie möglich entspricht.

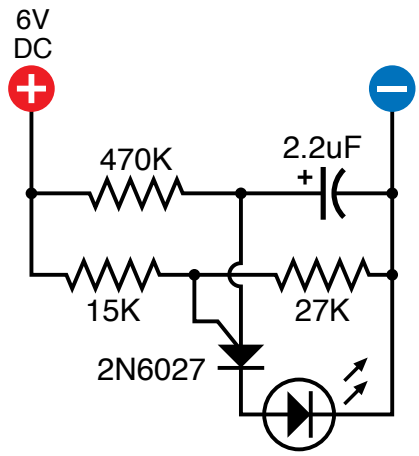


Abbildung 2-103. *So lässt sich leichter erkennen, was in der Schaltung auf dem Steckbrett passiert.*

Die Widerstände mit 15 kΩ und 27 kΩ legen die Spannung am Gate fest. Der 470-kΩ-Widerstand versogt die Anode des PUT, aber der PUT fängt im ausgeschalteten Zustand an und blockiert die Spannung. Also lädt die Spannung den 2,2-µF-Kondensator.

Vielleicht erinnerst du dich, dass ein Widerstand die Geschwindigkeit verringert, mit der ein Kondensator die Spannung aufnimmt. Je größer der Widerstand oder Kondensator, desto länger dauert es, bis der Kondensator voll aufgeladen ist. In dieser Schaltung braucht der Kondensator etwa eine halbe Sekunde, um annähernd 6 Volt zu erreichen.

Beachte aber auch, dass der PUT direkt mit dem Kondensator verbunden ist. Die Spannung, die sich im Kondensator aufbaut, liegt also auch am PUT an. Die Spannung steigt nach und nach an und erreicht schließlich den Schwellenwert, der den PUT in seinen »an«-Zustand umschaltet. Der Kondensator entlädt sich sofort durch den PUT, durch die LED (die aufleuchtet) und von dort über den Minuspol der Stromversorgung.

Der Stromstoß erschöpft den Kondensator. Die Spannung fällt wieder ab und der PUT schaltet in seinen Ursprungszustand zurück. Jetzt lädt der Kondensator sich erneut auf und der ganze Ablauf wiederholt sich. Wenn du stattdessen einen 2,2-µF-Kondensator nimmst, sollte der Lade-/Entladezyklus etwa zehnmal solange dauern, so dass du genug Zeit hast, ihn zu messen. Stelle dein Multimeter auf Gleichspannung und halte die Messspitzen an beide Anschlüsse des Kondensators. Du kannst tatsächlich zusehen, wie die Ladung ansteigt, bis sie den Schwellenwert erreicht, ab dem sich der Kondensator entlädt und die Spannung wieder abfällt.

Jetzt haben wir also einen Oszillator. Was kommt danach?

Schritt 2: Schneller als die Augenträgheit

Wenn du einen viel kleineren Kondensator benutzt, lädt dieser sich viel schneller auf und die LED blinkt schneller. Gehen wir mal von einem Kondensator mit 0,0047 µF aus (was man auch als 47 Nanofarad bzw. 47 nF schreiben kann). Das ist vielleicht keine runde Zahl, aber ein Standardwert für Kondensatoren. Durch diesen wird die Kapazität um einen Faktor von mehr als 500 verkleinert, also sollte auch die LED 500-mal schneller blinken, also etwa 1000-mal pro Sekunde. Das menschliche Auge kann so schnellen Impulsen nicht folgen. Das menschliche Ohr kann dagegen Frequenzen von bis weit über 10.000 pro Sekunde hören. Wenn wir die LED durch einen kleinen Lautsprecher ersetzen, sollten wir die Oszillationen hören können.

Abbildung 2-104 zeigt, wie du das umsetzen sollst. Bitte verändere deinen ursprünglichen Schaltkreis mit der langsam blinkenden Diode nicht, sondern baue einen zweiten weiter unten auf dem Steckbrett auf. Im Schaltplan in Abbildung 2-105 ist der neue Teil des Schaltkreises in schwarz abgebildet und der bisherige Teil in grau.

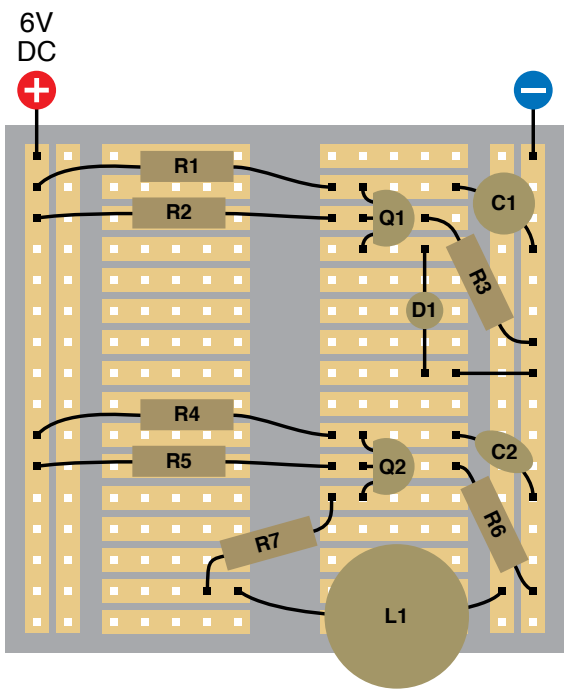


Abbildung 2-104. *Die zusätzlichen Bauteile, die in der unteren Hälfte des Steckbretts hinzugekommen sind, haben dieselben Funktionen wie die Bauteile oben, aber die Werte unterscheiden sich leicht:*

R4: 470 kΩ
R5: 33 kΩ
R6: 27 kΩ
R7: 100 Ω
C2: 0,0047 µF
Q2: 2N6027
L1: 8-Ω-Lautsprecher (1 Zoll)

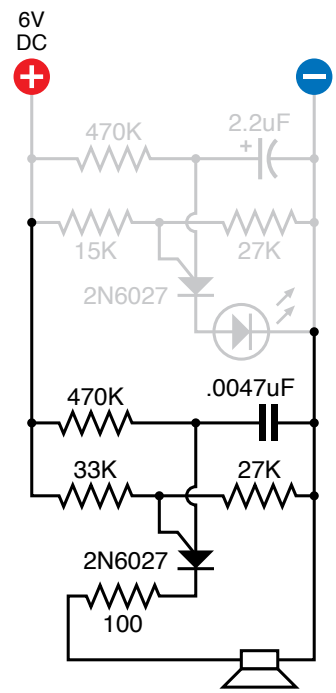


Abbildung 2-105. *Den in Grau abgebildeten Teil hast du schon aufgebaut. Setze nur den neuen Teil in Schwarz dazu.*

Behalte die langsam blinkende Schaltung bei, weil ich eine Idee habe, wie wir sie später noch verwenden können. Du kannst die LED blinken lassen.

Der Lautsprecher sollte mit einem 100-Ω-Widerstand in Reihe geschaltet werden, um den Strom zu begrenzen, der aus dem PUT fließt. Der Lautsprecher hat keine Polung, auch dann nicht, wenn er einen roten und einen schwarzen Draht hat. Es ist egal, wie herum du ihn anschließt.

Du bist am Anfang sicher enttäuscht, weil es so wirkt, als würde die Schaltung gar nichts tun. Wenn du aber dein Ohr ganz ganz nahe an den Lautsprecher hältst (und die Schaltung richtig verkabelt ist), solltest du ein leises Summen wie von einer Mücke hören. Offensichtlich ist das Signal nicht laut genug, um es irgendwie praktisch einsetzen zu können. Wir müssen es lauter machen. Anders gesagt: Wir müssen das Signal verstärken.

Vielleicht erinnerst du dich, dass der 2N2222, mit dem wir schon herumgespielt haben, als Verstärker fungieren kann. Also probieren wir das mal aus.

Schritt 3: Verstärkung

Stecke den Lautsprecher und den 100-Ω-Reihenwiderstand wieder ab. Füge den 2N2222 hinzu, der mit dem Ausgang des PUT über einen 1-kΩ-Widerstand verbunden wird, um ihn vor zu hoher Stromstärke zu schützen. Siehe Abbildung 2-107. Der Emitter des 2N2222 wird mit der Masse verbunden und der Kollektor wird durch den Lautsprecher und den 100-Ω-Widerstand in Reihe versorgt. So werden kleine Schwankungen am Ausgang des PUT an der Basis des 2N2222 registriert, der diese dann in größere Schwankungen zwischen dem Kollektor und Emitter umwandelt, die Strom durch den Lautsprecher ziehen. Siehe dazu den Schaltplan in Abbildung 2-108.

Jetzt sollte der Ton lauter sein als das Summen von Insekten, aber immer noch nicht laut genug, um wirklich benutzbar zu sein. Was tun?

Na ja, wir könnten ja noch einen 2N2222 benutzen. Bipolare Transistoren können in Reihe geschaltet werden, so dass der Ausgang des ersten an die Basis des zweiten geleitet wird. Die Verstärkung von 24:1 des ersten wird mit weiteren 24:1 multipliziert, was eine Gesamtverstärkung von mehr als 500:1 ergibt.

Auch diese Methode hat ihre Grenzen. Der 2N2222 kann nur eine bestimmte Menge Strom leiten, bevor er überladen wird. Zu hohe Verstärkung kann Verzerrungen verursachen. Beim Aufbau der Schaltung habe ich aber nachgemessen, um sicherzustellen, dass wir uns noch innerhalb der Grenzwerte des 2N2222 befinden. Bei diesem Projekt ist es mir auch egal, ob der Klang leicht verzerrt wird.

HINTERGRUNDWISSEN

Lautsprechereinbau

Die Membran eines Lautsprechers ist dafür da, um Schall abzustrahlen. Da sie aber in beide Richtungen schwingt, gibt sie Schall sowohl von der Rückseite als auch von der Vorderseite ab. Weil diese Schallwellen zueinander phasenverschoben sind, können sie sich gegenseitig auslöschen.

Die wahrgenommene Leistung eines Lautsprechers kann drastisch gesteigert werden, wenn man einen Schalltrichter in Form einer Röhre aufsetzt, der die Ausgabe der Vorder- und Rückseite des Lautsprechers voneinander trennt. Für einen kleinen 1-Zoll-Lautsprecher kannst du eine Karteikarte zu einer Röhre biegen und zusammenkleben. Siehe Abbildung 2-106.

Noch besser ist es, wenn du den Lautsprecher in eine Box einbaust, so dass dieses Gehäuse den Schall von dessen Rückseite absorbiert. Da es für diese Experimente unwichtig ist, werde ich nicht auf die Einzelheiten von ventilierten Gehäusen und Bassreflex-Konstruktionen eingehen.

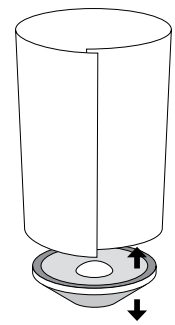


Abbildung 2-106. *Ein Lautsprecher gibt Schall von seiner unteren als auch von seiner oberen Fläche ab. Um die wahrgenommene Lautstärke zu erhöhen, trenne beide Schallquellen mit einer Pappröhre oder baue den Lautsprecher in ein kleines Gehäuse ein.*

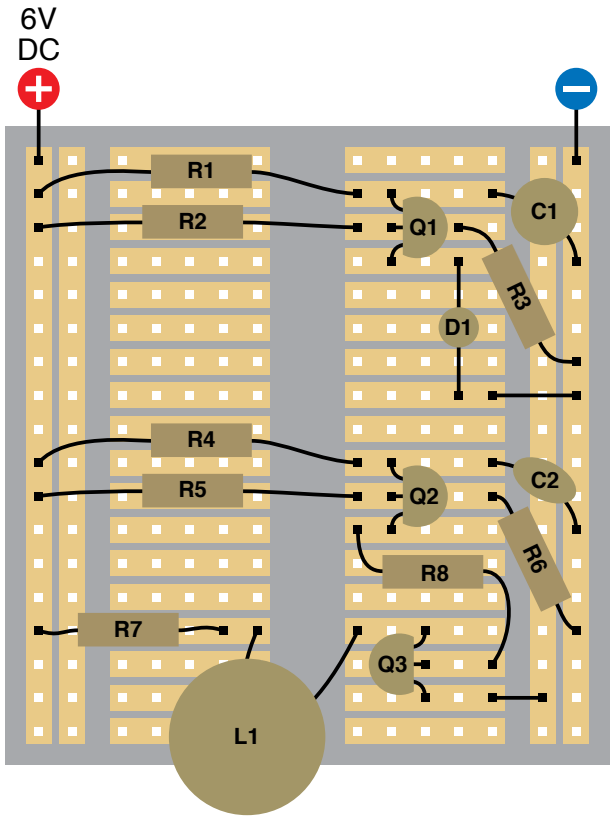


Abbildung 2-107. *Wenn du einen Allzwecktransistor 2N2222 dazusteckst, können wir das Signal von Q2 verstärken:*

R8: 1 kΩ
Q3: 2N2222

Die anderen Bauteile sind dieselben wie im vorherigen Schritt des Schaltungsaufbaus.

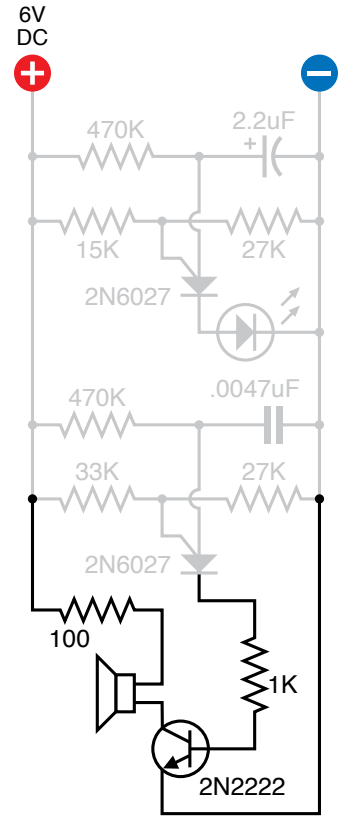


Abbildung 2-108

Füge den zweiten 2N2222 wie in Abbildung 2-109 hinzu. In Abbildung 2-110 ist wieder der bereits aufgebaute Teil in grau zu sehen.

Wenn diese Anhäufung elektrischer Bauteile langsam verwirrend wirkt, denke daran, dass jede Gruppe von Teilen eine bestimmte eigene Funktion hat. Wir können ein Blockschaltbild zeichnen, um das zu verdeutlichen, wie in Abbildung 2-112.

Mit dem zweiten 2N2222 solltest du das Ausgangssignal deutlicher hören können, jedenfalls soweit die Leistung des kleinen 1-Zoll-Lautsprechers reicht. Wenn du mit den Händen einen Trichter um den Lautsprecher bildest, um den Schall in eine Richtung zu lenken, sollte er noch lauter klingen. Du kannst es auch mit einem 3-Zoll-Lautsprecher versuchen, der allgemein ein besseres Klangergebnis liefern sollte und dabei noch in den Grenzen des kleinen 2N2222-Transistors bleibt. Siehe die frühere Abbildung 2-106 und Abbildung 2-111.

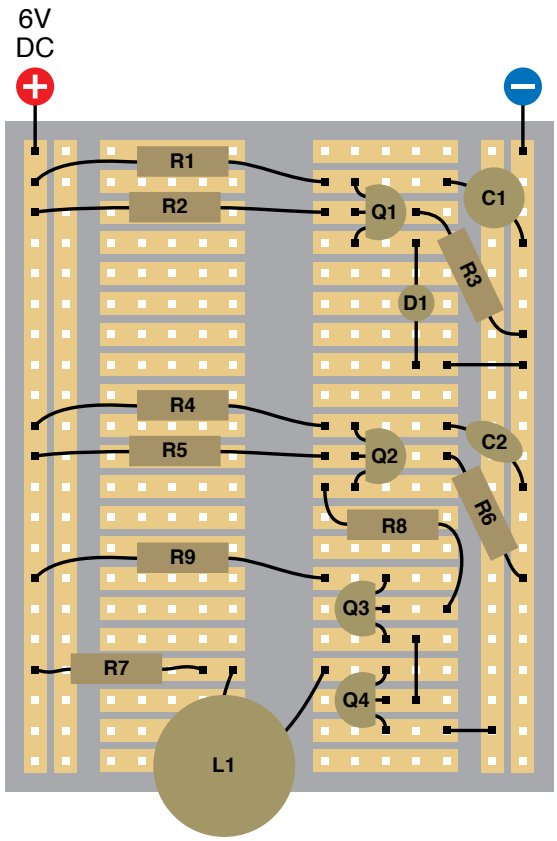


Abbildung 2-109. *Q4 ist ein weiterer 2N2222-Transistor, der das Signal noch mehr verstärkt. Er wird durch R2 mit 2,2 kΩ gespeist.*

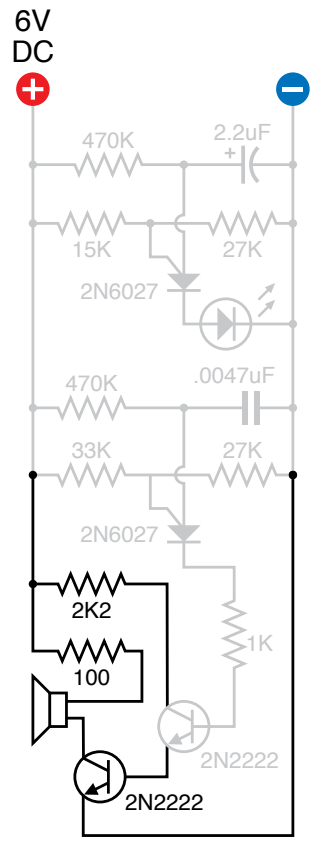


Abbildung 2-110. *Dieser Schaltplan entspricht dem Aufbau in Abbildung 2-109.*

Abbildung 2-111. *Der 2N2222-Transistor ist in der Lage, einen 3-Zoll-Lautsprecher zu betreiben, der sehr viel besser als ein 1-Zoll-Lautsprecher klingt.*

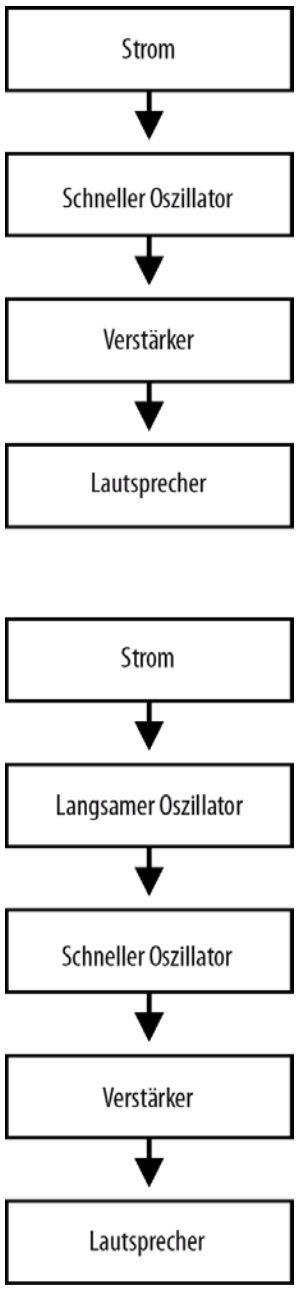


Abbildung 2-112. *Oben: Die Grundfunktionen der Alarm-Oszillatorschaltung als Blockschaltbild. Unten: Dieselben Funktionen mit einem zusätzlichen langsamen Oszillator, der den schnellen Oszillator steuert.*

Schritt 4: Impulsartiges Ausgangssignal

Wenn du dieses Audiosignal als Alarm benutzen willst, ist ein Dauerheulen nicht ganz das, was du suchst. Eine pulsierende Ausgabe eignet sich viel besser, um Aufmerksamkeit zu erregen.

Im ersten Teil der Schaltung, die du aufgebaut hast, wurde ein Signal erzeugt, das etwa zwei Mal in der Sekunde pulsiert. Damit hast du eine LED blinken lassen. Vielleicht können wir die LED weglassen und den Ausgang des ersten Abschnitts in den zweiten Abschnitt leiten. Das untere Blockschaltbild in Abbildung 2-112 veranschaulicht dieses Prinzip.

Ist das wirklich so einfach? Ja und nein: Der Trick besteht darin, den Ausgang des ersten Teils kompatibel mit dem Eingang des zweiten Teils zu machen. Wenn du einfach einen Draht von der Kathode des ersten PUT an die Anode des zweiten PUT legst, wird es nicht funktionieren, weil der zweite PUT bereits etwa 1000-mal in der Sekunde zwischen hoher und niedriger Spannung oszilliert. Wenn du mehr Spannung hineingibst, störst du nur das Gleichgewicht, das die Oszillation ermöglicht.

Vergiss aber nicht, dass die Spannung am Gate eines PUT den Grenzwert für die Durchleitung von Strom beeinflusst. Vielleicht können wir diesen Grenzwert automatisch einstellen, wenn wir den Ausgang von Q1 mit dem Gate von Q2 verbinden. Die Spannung muss aber natürlich in einem Bereich sein, mit dem der PUT klar kommt. Wir können es mit verschiedenen Widerstände testen, um herauszufinden, welcher Wert am besten funktioniert.

Das klingt nach Herumprobieren und genau das ist es auch. Vorher genau auszurechnen, wie sich eine Schaltung wie diese wohl verhalten wird, ist viel zu kompliziert, jedenfalls für mich. Ich habe nur das Datenblatt des Herstellers durchgeschaut, den Bereich von Widerstandswerten gelesen, die der PUT toleriert, und dann einen ausgewählt, der vermutlich funktionieren würde.

Wenn du die LED wegnimmst und stattdessen R10 wie in der Steckbrettdarstellung in Abbildung 2-113 einsetzt, wird die fluktuierende Ausgabe von Q1 den Transistor Q2 dazu bringen, ein Signal mit zwei Tonhöhen abzugeben. Das ist interessant, aber noch nicht das, was ich will. Ich glaube, dass das Ergebnis besser wird, wenn die Impulse von Q1 weniger abrupt sind. Eine Möglichkeit, einen pulsierenden Ausgang zu glätten, besteht darin, einen weiteren Kondensator anzuschließen, der zu Beginn jedes Impulses aufgeladen wird und dann seine Ladung am Ende jedes Impulses abgibt. Das ist die Funktion von C3 in Abbildung 2-114, mit der die Schaltung so vervollständigt wird, dass sie einen heulenden Klang abgibt, die fast wie ein »echter« Alarm klingt.

Wenn du gar keine Klangausgabe hörst, überprüfe die Verdrahtung sehr sorgfältig. Auf dem Steckbrett stellt man schnell eine falsche Verbindung her, besonders mit den drei Beinchen jedes Transistors. Nimm dein Multimeter (auf Gleichspannungsmessung) und überprüfe, ob jeder Abschnitt der Schaltung eine positive Spannung in Bezug auf den negative Anschluss der Stromversorgung hat.

Abbildung 2-115 zeigt dir, wie deine Schaltung auf dem Steckbrett aussehen sollte.

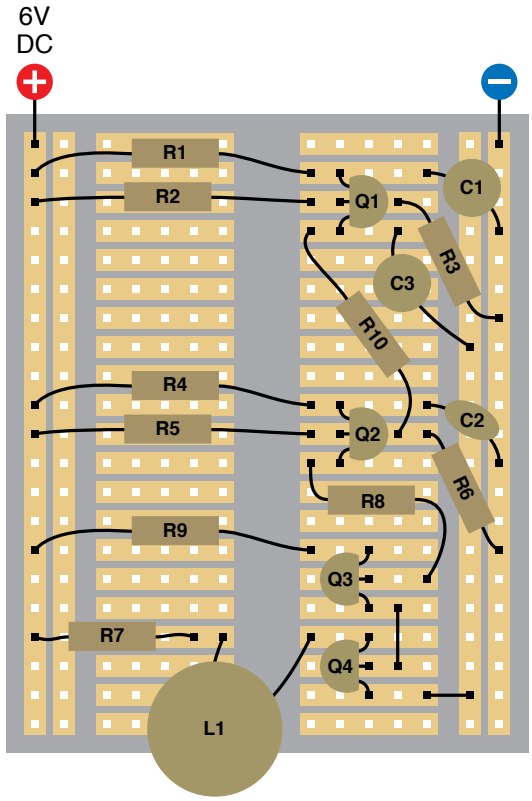


Abbildung 2-113. *R10 verbindet den langsamen Oszillator oben auf dem Steckbrett mit dem Gate von Q2, dem PUT in der Mitte des Steckbretts. Dadurch und mit einem Glättungskondensator wird der Audio-Oszillator moduliert.*

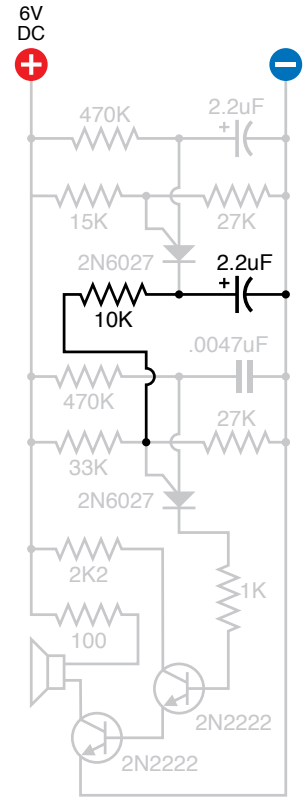


Abbildung 2-114. *Dieser Schaltplan zeigt dieselbe Schaltung wie in Abbildung 2-113:*
R10: 10 kΩ
C3: 2,2 µF

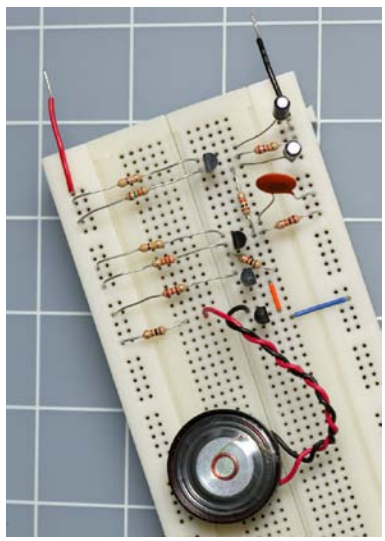


Abbildung 2-115. *Dieses Foto zeigt die vollständige Alarmsirenen-Schaltung auf einem Steckbrett.*

Das lässt sich noch verbessern

Hier gibt es noch viel Spielraum für Kreativität:

- Die Tonfrequenz einstellen: Nimm einen kleineren oder größeren Kondensator anstelle von C2 (mit dem halben oder doppelten des jetzigen Wertes). Nimm einen kleineren oder größeren Wert für R5.
- Die Impulsfunktion einstellen: Nimm einen kleineren oder größeren Kondensator anstelle von C1 (mit dem halben oder doppelten des jetzigen Wertes). Nimm einen kleineren oder größeren Wert für R2.
- Allgemeine Änderungen am Verhalten: Versuche einen größeren Wert für R1. Versuche größere oder kleinere Werte für C3.
- Betreibe die Schaltung mit 7,5 Volt, 10 Volt und 12 Volt.

Die Schaltungen in diesem Buch werden nur als Ausgangspunkte vorgeschlagen. Du solltest immer versuchen, sie noch zu verbessern und sie dir so zueigen zu machen. Solange du dich an die Grundregeln hältst, Transistoren und LEDs mit Widerständen zu schützen, und ihre Anforderungen an positive und negative Spannung einhältst, werden sie dir sicher nicht durchbrennen. Natürlich passieren kleine Unfälle – ich neige zur Sorglosigkeit und habe ein paar LEDs gebraten, einfach indem ich sie bei der Arbeit an dieser Schaltung falsch herum angeschlossen habe.

Schritt 5: Verbesserungen

Eine Schaltung, die Lärm macht, ist nur die Ausgabeseite eines Alarms. Du brauchst noch einige Erweiterungen, um damit etwas anfangen zu können:

1. Einen Einbruchssensor. Vielleicht Magnetschalter an Fenstern und Türen?
2. Eine Möglichkeit, den Ton einzuschalten, wenn einer der Sensoren ausgelöst wird. Normalerweise macht man das, indem man einen sehr kleinen, aber konstanten Strom in Reihe durch alle Schalter leitet. Wenn irgend einer der Schalter geöffnet oder der Draht selbst durchtrennt wird, unterbricht das den Strom, was den Alarm auslöst. Das könntest du mit einem Umschalt-Relais bauen, so dass das Relais ständig unter Strom steht, bis der Stromkreis unterbrochen wird. Dann lässt das Relais los, öffnet ein Kontaktpaar und schließt das andere, das dann Strom an den Krachmacher liefern könnte.

   Das Problem ist, dass ein Relais eine erhebliche Menge Strom verbraucht, wenn es unter Spannung steht, und dabei wird es auch noch heiß. Ich will aber, dass mein Alarmsystem sehr wenig Strom verbraucht, wenn es »scharf« ist, so dass man es mit einer Batterie betreiben kann. Alarmanlagen sollte nie ausschließlich vom Stromnetz abhängig sein.

   Wenn wir kein Relais benutzen, können wir dann mit einem Transistor den Rest der Schaltung einschalten, wenn der Strom unterbrochen wird? Auf jeden Fall. Ein Transistor reicht sogar aus.

3. Aber wie schalten wir den Alarm erst einmal scharf? Wir brauchen wirklich einen Drei-Punkte-Plan. Erstens sollte zur Überprüfung ein kleines Licht angehen, wenn alle Türen und Fenster geschlossen sind. Zweitens solltest du auf einen Knopf drücken, der einen Countdown von 30 Sekunden startet, damit du Zeit hast, das Haus zu verlassen, sofern du das willst. Drittens sollte sich der Alarm nach 30 Sekunden von selbst scharf schalten.
4. Wenn der Alarm ausgelöst wird, was dann? Wenn jemand ein Fenster gewaltsam öffnet, sollte dann der Alarm ausgehen, wenn das Fenster wieder geschlossen wird? Nein, der Alarm sollte eingeschaltet bleiben, bis du ihn ausschaltest.
5. Wie schaltest du ihn ab? Eine Tastatur mir einer Art Geheimcode wäre gut.
6. Um zu verhindern, dass der Alarm alle verrückt macht, wenn er in deiner Abwesenheit ausgelöst wird, sollte er sich am Ende doch abschalten, vielleicht nach 10 Minuten. In diesem Zustand sollte er leise sein, aber vielleicht eine LED einschalten, die dir sagt, was passiert ist. Du kannst dann einen Resetknopf drücken, um die LED auszuschalten.

Den Wunschzettel umsetzen

Ich habe einen Wunschzettel zusammengestellt, der den Eindruck erweckt, das Projekt werde sich mindestens fünfmal so kompliziert gestalten, als es jetzt schon ist. Aber das passiert nun mal, wenn man über kleine Übungsschaltungen hinaus geht und etwas gestalten will, dass im täglichen Leben einsetzbar ist. Auf einmal merkt man, dass man allerlei Umstände und Situationen bedenken muss.

Ich kann und werde dir tatsächlich zeigen, wie man die ganzen Verbesserungen auf dem Wunschzettel umsetzt, aber ich glaube, wir müssen uns dafür erst noch etwas ernsthafter mit Elektronikprojekten als solchen beschäftigen. Wenn du etwas Anspruchsvolles bauen willst, willst du es sicher etwas haltbarer und wohl auch kleiner machen als ein Steckboard mit eingesteckten Bauteilen.

Du musst wissen, wie man alles dauerhaft mit Lötzinn auf einer Lochplatine verbindet, die man in ein schickes Gehäuse mit Schaltern und Leuchtdioden einbauen kann.

Im nächsten Kapitel geht es um das Löten und Einbauen. Danach kommen wir wieder zu unserem Alarmanlagen-Projekt zurück.

3 Es wird langsam ernst

Ich weiß nicht, wie sehr du dich in das Thema Elektronik vertiefen willst, aber ich weiß, dass ich dir alles gezeigt habe, was man mit einer Handvoll Bauteile, Draht, einem Steckbrett und ein paar Werkzeugen machen kann. Um weiterzumachen, brauchst du:

- Mehr Werkzeuge und Material
- Löten auf Einsteigerniveau
- Mehr Wissen über:
  - Integrierte Schaltkreise
  - Digital-Elektronik
  - Mikrocontroller
  - Motoren

Das Werkzeug ist nicht besonders exotisch oder teuer und die Lötkenntnisse kannst du dir leicht aneignen. Im Vergleich zu anspruchsvollen handwerklichen Fertigkeiten wie Schweißen oder das Herstellen von Schmuck ist das Verbinden von Drähten mit Lötzinn sehr leicht zu erlernen.

Was das zusätzliche Wissen über Teilgebiete der Elektronik angeht: Es wird nicht anspruchsvoller, als es bisher ist.

Am Ende dieses Abschnitts solltest du in der Lage sein, Bauteile von einem Steckbrett auf eine Platine umzubauen und diese Platine in ein kleines Gehäuse mit Schaltern und Warnleuchten einzubauen, so dass es im Alltag nutzbar ist.

IN DIESEM KAPITEL

Einkaufszettel: Experimente 12 bis 15
Experiment 12: Zwei Drähte miteinander verbinden
Experiment 13: Brate eine LED
Experiment 14: Ein pulsierendes Glühen
Experiment 15: Zurück zur Alarmanlage

Einkaufszettel: Experimente 12 bis 15

Werkzeug

Jedes der folgenden Werkzeuge ist einer der Kategorien »Unentbehrlich«, »Empfohlen« oder »Wahlweise« zugeordnet. Mit den unentbehrlichen Werkzeugen kommst in diesem Kapitel aus. Wenn du auch die empfohlenen Werkzeuge kaufst, reichen diese für alle übrigen Experimente des Buches aus. Die

Abbildung 3-1. *Dieser Feinlötkolben hat eine geringe Leistung. Daher kannst du ihn gefahrlos auch für empfindliche Bauteile benutzen. Die dünne Spitze hilft dabei, die Hitze an die richtige Stelle zu leiten*

Abbildung 3-2. *Dieser Lötkolben mit mehr Leistung liefert die zusätzliche Hitze, die für dickere Drähte oder größere Bauteile gebraucht wird. Die Verfärbungen entstehen schnell durch den alltäglichen Gebrauch, haben aber keine Auswirkungen auf die Eigenschaften des Lötkolbens, solange die Spitze sauber ist.*

Abbildung 3-3. *Die helfende Hand hat zwei Krokodilklemmen, die dein Werkstück festhalten. Die Metallspirale ist ein sicherer Platz, um einen heißen Lötkolben abzulegen. Am Schwamm kannst du die Lötspitze abwischen.*

wahlweise zu besorgenden Werkzeuge erleichtern dir die Arbeit, aber du musst selbst entscheiden, ob sie dir das Geld wert sind. Die URLs aller Hersteller und Einkaufsquellen sind im Anhang aufgelistet.

Ich gehe davon aus, dass du einige herkömmliche Werkzeuge wie z.B. eine Bohrmaschine besitzt.

Unentbehrlich: 15-Watt-Feinlötkolben

Beispiele sind Weller WM15L aus der »Mini 2000«-Serie, ERSA Tip 260 mit 16 Watt oder Conrad-Bestellnummer 588292. Siehe Abbildung 3-1. Lötkolben mit 15 Watt sind nicht so gebräuchlich wie Modelle mit 25 Watt oder mehr. Ein 15-Watt-Modell ist aber für die Aufgaben mit kleinen Bauteilen, die du machen wirst, besser geeignet, und verringert außerdem die Gefahr, dass du Bauteile durch Überhitzung beschädigst.

Bedenke beim Preisvergleich, dass eine beschichtete Spitze zwar mehr kostet, aber länger hält und einfacher zu reinigen ist. Sie leitet auch die Hitze besser als eine einfache Kupferspitze. Wenn in den Angaben des Herstellers keine beschichtete Lötspitze erwähnt wird, hat der Lötkolben sicher auch keine.

Unentbehrlich: Allzwecklötkolben, 30 bis 40 Watt

Auch wenn fast alle Projekte in diesem Buch mit kleinen, hitzeempfindlichen Bauteilen und dünnen Drähten auskommen, musst du sicher auch mal größere Bauteile und/oder dickeren Draht mit einer Lötstelle verbinden. Ein Lötkolben mit 15 Watt kann für diesen Zweck nicht genügend Hitze liefern. Du solltest daher einen größeren Lötkolben als Reserve haben, insbesondere, weil diese nicht besonders teuer sind.

Ich mag den Weller Therma-Boost, der in Abbildung 3-2 zu sehen ist, weil er einen zusätzlichen Schalter hat, um auf Wunsch mehr Hitze zu liefern. Das ist nützlich, wenn der Lötkolben schnell heiß werden soll oder wenn du versuchst, sehr dicken Draht zu löten, der eine Menge Hitze aufnimmt.

Wenn du das Modell von Weller nicht findest oder es dir nicht gefällt, reicht auch fast jeder Lötkolben mit 30 oder 40 Watt. Du kannst bei eBay oder im nächsten Baumarkt nachschauen.

Unentbehrlich: Helfende Hand

Die sogenannte »helfende Hand« (oder »dritte Hand«) hat zwei Krokodilklemmen, die Bauteile oder Drähte fest an ihrer Stelle halten, wenn du sie verlötest. Einige Modelle der »dritten Hand« haben z.T auch eine Lupe oder einen Lötkolbenständer in Form einer Drahtfeder und einen kleinen Schwamm, an dem man die Lötspitze abstreifen kann, wenn sie verschmutzt ist. Diese Zusatzfunktionen sind ganz praktisch. Helfende Hände gibt es bei fast allen Hobbyelektronik-Anbietern. Beispiele sind HALTER ZD-10D von Reichelt oder Conrad-Bestellnummer 588221. Siehe Abbildung 3-3.

Unentbehrlich: Lupe

Egal wie gut deine Augen sind: Eine kleine starke Handlupe ist unentbehrlich, um die Lötstellen auf Lochrasterplatinen zu überprüfen. Das Set mit drei Linsen in Abbildung 3-4 wird nahe ans Auge gehalten und ist stärker als die große Linse einer »helfenden Hand«. Die klappbare Lupe (Fadenzähler) in Abbildung 3-5 kann man auf die Werkbank stellen und freihändig benutzen. Solche Lupen gibt es bei Pollin und Conrad und in vielen Künstlerbedarfs- und Hobbyläden. Kunststofflinsen reichen aus, wenn du sie vorsichtig behandelst.

Abbildung 3-4. *Wenn du sie vorsichtig behandelst, reicht ein billiges Set von Kunststofflupen vollkommen aus. Vergrößerungsgläser sind unentbehrlich, um die Lötstellen auf Platinen zu überprüfen.*

Unentbehrlich: Klemmhaken für Prüfleitungen

Die Messspitzen, die deinem Multimeter beiliegen, musst du bei einer Messung ständig festhalten. Dazu brauchst du beide Hände und kannst daher währenddessen nichts anderes machen.

Wenn du ein Paar Klemm-Prüfspitzen benutzt, die kleine Haken mit Federzug an der Spitze haben, kannst du den (negativen) Common-Anschluss deines Multimeters an den Minuspol deiner Schaltung hängen, so dass er dort bleibt und du mit der positiven Messspitze andere Testpunkte berühren kannst.

Wenn du keine Klemmleitung wie in Abbildung 3-6 finden kannst oder sie dir zu teuer ist, kannst du dir auch eine eigene Messleitung basteln, indem du zwei »Bananenstecker« (z.B. BS 40SA von Reichelt) kaufst, die in die Buchsen deines Multimeters passen, und diese mittels Kupferlitzen (1,5 mm² Querschnitt oder mehr) mit Klemm-Prüfspitzen, z.B. von Polin Electronic, verbindest. Siehe Abbildungen 3-7 und 3-8.

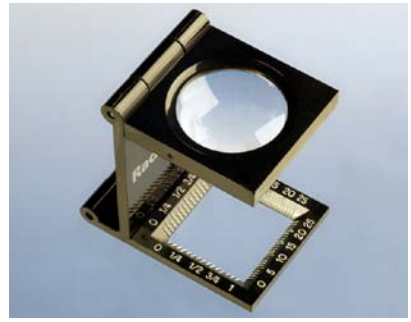


Abbildung 3-5. *Diese faltbare Lupe, auch Fadenzähler genannt, kann abgestellt werden und eignet sich gut, um die Beschriftung sehr kleiner Bauteile zu lesen*

Abbildung 3-7. *Um deine eigenen Klemmleitungen zu machen, befestige zuerst einen Bananenstecker an einem Draht, indem du den Draht durch die Hülle in das Loch an der Seite des Steckers führst.*

Abbildung 3-8. *Dann schraube zur Befestigung die Mutter über den herausstehenden Draht und drehe die Hülle darauf. Das andere Ende des Kabels wird an den Klemmhaken gelötet.*

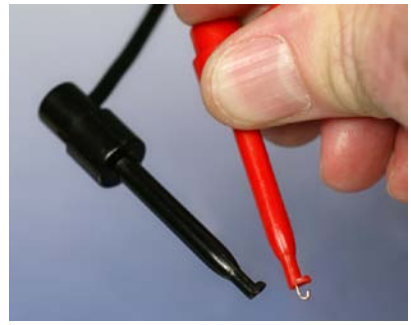


Abbildung 3-6. *Diese kleinen Klemmhaken für Messleitungen vereinfachen das Messen von Spannung oder Stromstärke erheblich. Wenn man auf den gefederten Knopf drückt, kommt ein kleiner Kupferhaken hervor. Hänge diesen an einen Draht, lasse den Knopf los und schon hast du die Hände für andere Dinge frei. Es ist mir ein Rätsel, warum die Haken nicht zum normalen Lieferumfang von Multimetern gehören.*

Abbildung 3-9. *Die Heißluftpistole wird wie ein sehr starker Haartrockner benutzt. Sie gibt Hitze ab und mittels Schrumpfschlauch wird dann eine festsitzende Isolierung um den blanken Draht erzeugt.*

Unentbehrlich: Heißluftpistole

Nachdem du zwei Drähte verlötet hast, musst du sie oft isolieren. Mit Isolierband kann man nicht sauber arbeiten und es löst sich auch oft wieder ab. Daher solltest du Schrumpfschlauch benutzen, der eine sichere und haltbare Schutzhülle um eine offene Lötstelle herstellt. Der Schlauch schrumpft zusammen, wenn man ihn mit einer Heißluftpistole, eine Art sehr starkem Haartrockner, erhitzt. Man bekommt sie in jedem Baumarkt. Ich schlage vor, dass du das billigste Modell kaufst, das du finden kannst. Siehe Abbildung 3-9.

Unentbehrlich: Entlötpumpe

Dieses kleine Werkzeug saugt heißes, flüssiges Lötzinn auf, wenn du versuchst, eine falsche Lötstelle zu entfernen. Es gibt sie z.B. bei Reichelt Elektronik (Bestellnummer »Entlötpumpe«) oder bei Pollin (Bestellnummer 840 003).

Unentbehrlich: Entlötlitze

Siehe Abbildung 3-11. Damit kannst du wie auch mit der Entlötpumpe Lötzinn aufsaugen. Sie ist bei jedem Elektronik-Versand und -Fachgeschäft erhältlich.

Unentbehrlich: Mini-Schraubenzieher-Set

Niedliche kleine elektronische Bauteile haben oft auch niedliche kleine Schrauben. Wenn du einen Schraubenzieher der falschen Größe benutzt, zerstörst du schnell den Schraubenkopf. Achte darauf, dass im Set sowohl kleine Kreuzschlitz- als auch Schlitzschraubenzieher vorhanden sind. Siehe Abbildung 3-12.

Empfohlen: Lötkolbenständer

Wenn der Lötkolben heiß ist, aber gerade nicht gebraucht wird, kann man ihn in einem passenden Ständer abstellen. Beispiele hierfür sind Bestellnummer 588306 von Conrad oder »HALTER ZD-10A« von Reichelt. Du kannst auch bei eBay nachschauen. Möglicherweise ist auch ein Ständer in die helfende Hand integriert, aber du brauchst sowieso noch einen für deinen zweiten Lötkolben.

Abbildung 3-10. *Um eine Lötstelle zu entfernen, kannst du das Lötzinn erhitzen, bis es flüssig ist, und dann mit so einer Entlötsaugpumpe aufsaugen.*

Abbildung 3-11. *Eine weitere Möglichkeit, flüssiges Lötzinn zu entfernen, ist das Aufsaugen mit Entlötlitze.*

Abbildung 3-12. *Ein Satz kleiner Schraubenzieher ist unentbehrlich.*

Abbildung 3-13. *Ein einfacher, sicherer Halter für einen heißen Lötkolben.*

Empfohlen: Kleine Handsäge

Ich gehe davon aus, dass du irgendwann ein fertiges Elektronikprojekt in ein ordentlich aussehendes Gehäuse einbauen willst. Dafür brauchst du Werkzeuge, um dünnen Kunststoff zurechtzuschneiden und zu formen. Es kann z.B. sein, dass du ein quadratisches Loch aussägen musst, um einen eckigen Schalter darin zu montieren.

Für diese filigrane Arbeit eignen sich elektrische Werkzeuge eher nicht. Eine kleine Handsäge ist ideal dafür, Dinge zurecht zu sägen. Es gibt eine Reihe kleiner Sägeblätter von X-Acto. Ich schlage das Sägeblatt Nr. 15 mit dem dazugehörigen Griff vor, siehe Abbildung 3-14. Es gibt sie hierzulande in Hobby- und Modellbauläden und bei eBay. Du kannst auch nach den größeren Sägeblättern Nr. 234 und 239 Ausschau halten, mit denen du Lochrasterplatinen sägen kannst.

Abbildung 3-14. *Vom Hersteller X-Acto gibt es eine Reihe kleiner Sägeblätter, die sich ideal dafür eignen, eckige Löcher für Bauteile in Kunstoff zu sägen.*

Empfohlen: Kleiner Schraubstock

Ein kleiner Schraubstock kann dir in solchen Situationen helfen, in denen die helfende Hand versagt. Ich benutze meinen, wenn ich kleine Kunststoffteile säge, und als Gegengewicht, wenn ich an einer Platine arbeite. Siehe Abbildung 3-15.

Such nach einem gusseisernen Schraubstock, der eine Spannweite von rund 3 cm hat, z.B. bei Pollin, eBay oder in Hobbyläden. Auch der »Pana-Vise« ist interessant. Sein Kopf kann über ein Kugelgelenk verstellt werden, so dass du dein Werkstück in jede Position bewegen kannst.

Abbildung 3-15. *Ein kleiner Schraubstock wie dieser ist problemlos online erhältlich.*

Empfohlen: Entgratwerkzeug

Ein Entgratwerkzeug glättet und schrägt unsaubere Kanten ab (wenn du z.B. ein Stück Kunststoff gesägt oder gebohrt hast) und kann auch Löcher etwas vergrößern, doch nicht immer haben alle Bauteile Lochmaße, die einem runden Millimeterwert entsprechen. Nicht jeder kleine Eisenwarenladen hat Entgratwerkzeuge im Sortiment, man bekommt sie aber billig in Baumärkten und im Online-Handel (z.B. bei Kayser). Siehe Abbildung 3-16.

Wahlweise: Senkbohrer mit Handkurbel

Mit einem Senkbohrer schrägt man die Kanten von Schraubenlöchern so ab, dass Senkkopfschrauben hineinpassen. Wenn du ein Senkbohr-Bit mit einer Bohrmaschine benutzt, kannst du in dünnem, weichem Kunststoff nicht besonders sauber arbeiten. Man findet leicht Senkbohrer, die einen Schraubenziehergriff haben. Ich habe aber nur eine Quelle für einen Senkbohrer gefunden, der wie eine Kurbel bedient werden kann (Artikel 4000812412 bei Kayser). Dazu gibt es noch verschiedene Bit-Aufsätze, siehe, Abbildung 3-17.

Abbildung 3-16. *Diese clevere kleine Klinge mit einer runden Sicherheitskugel am Ende entgratet raue Sägekanten mit einem einzigen Zug und kann Löcher vergrößern, die nur fast groß genug sind.*

Wahlweise: Set mit Ahlen und Spitzbohrern

Diese Werkzeuge bekommt man in Baumärkten und in Bastelgeschäften. Siehe Abbildung 3-18.

Wahlweise: Messschieber

Das klingt nach unnötigem Luxus, aber ein Messschieber ist praktisch, um den Außendurchmesser eines runden Objekts (wie das Gewinde an einem Schalter oder einem Potentiometer) oder den Innendurchmesser eines Lochs (in das der Schalter oder das Potentiometer passen soll) zu messen.

Ich mag die Messschieber von Mitutoyo und das Einsteigermodell 505-611 (in Abbildung 3-19) kann alles, was ich brauche. Es gibt auch billigere Hersteller, aber auf lange Sicht ist es sicher keine gute Idee, bei Präzisionsmessinstrumenten zu sparen. Auf der Seite des Herstellers findest du alle erhältlichen Modelle. Wenn du bei Google nach »Mitutoyo« suchst, findest du ebenfalls entsprechende Händler.

Abbildung 3-17. *Diesen Senkbohrer dreht man wie eine Handkurbel, um ein Loch um genau die richtige Tiefe abzuschrägen, so dass eine Senkkopfschraube hinein passt.*

Abbildung 3-18. *Haken und Ahlen können auf vielfältige, auch unerwartete Weise hilfreich sein.*

Abbildung 3-19. *Es gibt digitale Messschieber (die automatisch zwischen Einheiten umrechnen können) und Messschieber in analoger Form wie im Bild gezeigt (nie wieder Probleme mit leeren Batterien).*

Verbrauchsmaterialien

Abbildung 3-20. *Rollen von Lötzinn in verschiedenen Dicken.*

Lötzinn

Das ist das Zeug, das du schmilzt, um damit Bauteile (hoffentlich) permanent zu verbinden. Du brauchst für sehr kleine Bauteile sehr dünnes Lötzinn mit 0,5 mm Durchmesser, sowie dickeres Lötzinn mit 1 mm Durchmesser für schwerere Teile. Kaufe kein Lötzinn, das für Installateure oder für die Schmuckproduktion gedacht ist. In Abbildung 3-20 ist Lötzinn in verschiedenen Dicken zu sehen. Wenn du die Wahl hast, kaufe bleifreies Lötzinn.

Lötzinn für Elektronikarbeiten hat eine säurefreie Flussmittelseele, die sich für elektrische Bauteile eignet. Spulen mit Lötzinn sind bei allen Elektronikhobby-Händlern wie Conrad, Reichelt oder Pollin erhältlich. Du kannst auch bei Amazon nach »Lötzinn« suchen.

Draht

Du brauchst Kupferlitze, um bei der Schaltung, die du bauen wirst, flexible Verbindungen mit anderen Teilen herstellen zu können. Suche nach Litze mit einem Durchmesser von 0,5 mm^2 in den Farben Rot, Schwarz und Grün, mindestens 3 Meter von jeder Farbe, z.B. »Litzen-Sortiment« von Pollin.

Wenn du die Alarmanlage installieren willst, nachdem du mit Experiment 15 fertig bist, brauchst du noch zweiadriges weißes Kabel, wie es für Türklingeln und Thermostate verwendet wird. Dies gibt es meterweise im

Baumarkt. Du kannst genau so viel kaufen, wie du meinst, nach Abmessung der Abstände zwischen den Magnetsensorschaltern zu brauchen.

Schrumpfschlauch

Er ist zum Gebrauch mit deiner Heißluftpistole gedacht, die schon beschrieben wurde. Du brauchst eine Reihe von Größen in Farben nach Wunsch, z.B. Bestellnummer SDH-SO 18FKB bei Reichelt oder einem anderen Versand. Du kannst aber auch den nächsten Baumarkt aufsuchen. Es wird eine große Preisspanne geben. Du kannst den billigsten kaufen. Siehe Abbildung 3-21.

Krokodilklemmen aus Kupfer

Sie leiten die Hitze ab, wenn du empfindliche Bauteile verlötest. Maximale Ableitung ermöglicht z.B. die Krokodilklemme »Mueller BU-30C« aus reinem Kupfer (erhältlich u.a. über Digi-Key). Kleinere Klemmen (wie in Abbildung 3-22) eignen sich für winzige Bauteile.

Abbildung 3-21. *Schiebe ein Stück Schrumpfschlauch über eine blanke Lötstelle und erhitze es mit einer Heißluftpistole, um einen feste Isolierung um die Lötstelle zu erzeugen.*

Abbildung 3-22. *Diese kleinen Klammern absorbieren Hitze und schützen so die Bauteile beim Verlöten.*

Lochrasterplatinen

Wenn du soweit bist, dass du deine Steckbrett-Schaltung dauerhafte fest aufbauen möchtest, lötest du sie auf ein Stück Platine mit vorgebohrten Löchern. Je nachdem, ob die rückseitige Kupferauflage nur um die einzelnen Löcher oder in parallelen Streifen angebracht ist, spricht man von Lochraster- oder eben Streifenrasterplatinen.

Du brauchst eine Platine, bei der die Kupferstreifen auf der Rückseite genau in der gleichen Form wie auf einem Steckbrett angelegt sind, damit du den Aufbau deiner Bauteile eins zu eins übernehmen kannst, wenn du sie festlötest. Solche Platinen sind derzeit nur in den USA bei RadioShack erhältlich; Bestellnummern sind 276-150 (wie in Abbildung 3-23) für kleine Schaltungen und Bestellnummer 276-170 (in Abbildung 3-24) für größere Schaltungen wie z.B. Experiment 15.

Für sehr kleine Projekte, in denen du die Bauteile nur mit ihren eigenen Anschlussdrähten verbindest, brauchst du Lochrasterplatinen, bei denen keine Kupferauflage vorhanden ist, siehe Abbildung 3-25. Solche Platinen erhältst du z.B. unter der Bestellnummer HPR 50X100 bei Reichelt. Man kann die Platten auf die benötigte Größe zurechtsägen. Wenn du nur eine Lochrasterplatine mit Kupferringen um die Löcher finden kannst, ist das kein Problem, auch wenn wir sie für unsere Zwecke nicht brauchen.

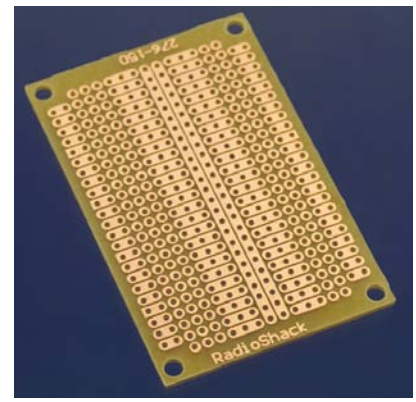


Abbildung 3-23. *Diese Lochrasterplatine hat Kupferbahnen, die genau so angeordnet sind wie die Verbindungen in einem Steckbrett, so dass du die Bauteile anordnen kannst, ohne Verbindungsfehler zu machen, wenn du eine permanent verlötete Ausgabe deines Projekts bauen willst.*

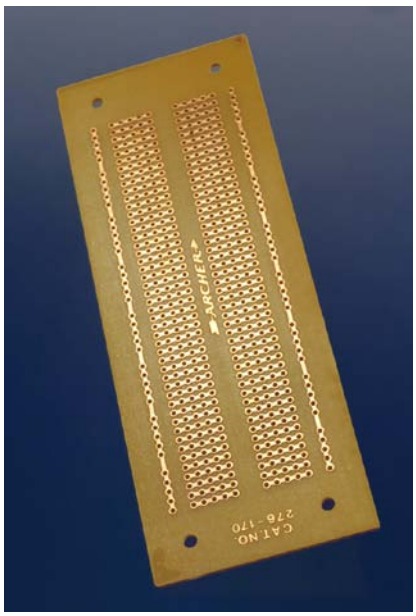


Abbildung 3-24. *Ein größeres Exemplar einer Lochrasterplatine mit Verbindungen wie auf einem Steckbrett.*

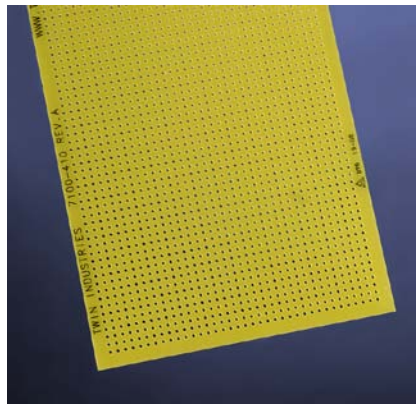


Abbildung 3-25. *Einfache Lochplatinen (ohne Kupferbahnen) können dafür benutzt werden, Bauteile zu befestigen, wenn du eine Punkt-zu-Punkt-Verdrahtung herstellen willst.*

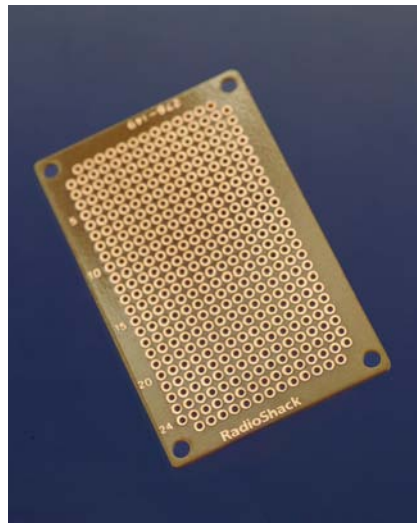


Abbildung 3-26. *Ein kleines Stück Lochrasterplatine mit einzelnen Lötpunkten aus Kupfer, die beim Festlöten von Bauteilen helfen.*

Sperrholz

Wenn du einen Lötkolben benutzt, kann heißes Lötzinn auf deinen Tisch oder deine Werkbank tropfen. Das Lötzinn wird augenblicklich fest, ist nicht immer leicht zu entfernen und hinterlässt einen Brandfleck. Ein passendes Brett aus rund 10 mm dickem Sperrholz schützt davor und lässt sich leicht austauschen. Du bekommst Sperrholz in jedem Baumarkt.

Gewindeschrauben

Um Bauteile hinter einer Frontplatte zu montieren, brauchst du Gewindeschrauben. Flach-Senkkopfschrauben sehen gut aus, weil sie bündig mit dem Gehäuse abschließen. Ich schlage vor, du kaufst rostfreie Edelstahlschrauben, Größe M3, in den Längen 10, 16 und 20 mm, und zwar von jeder Länge 100 Stück, dazu 300 Unterlegscheiben und 300 Sicherungsmuttern. Dies findest du alles im Baumarkt oder z.B. bei Reichelt.

Gehäuse

Geeignete Gehäuse sind in der Regel aus Kunststoff und haben einen abnehmbaren Deckel oder eine abnehmbare Frontplatte. Du kannst deine Schalter, Potentiometer und LEDs in Löchern befestigen, die du in das Gehäuse bohrst. Die Bauteile werden an die Platine angeschlossen, die du im Gehäuse befestigst. Jeder Elektronikteile-Anbieter verfügt in der Regel über eine Rubrik »Gehäuse«. Du brauchst eine Kunststoffbox, die etwa 15 cm lang, 8 cm breit und 5 cm hoch ist, z.B. SP 2003 SW von Reichelt. Jedes ähnliche Gehäuse geht auch. Ich schlage vor, dass du auch gleich mehrere andere Größen kaufst. Sie werden für zukünftige Projekte nützlich sein.

Bauteile

Stromversorgungsstecker, -buchsen und Polklemmen

Wenn du dein Projekt fertigstellst und es in ein Gehäuse einbaust, musst du es auf einfache Weise mit Strom versorgen. Kaufe zwei isolierte Polklemmen, z.B. »PK 4 RT« von Reichelt, siehe Abbildung 3-27. Du brauchst auch eine Stromversorgungsbuchse (5,5 x 2,1 mm), z.B. »HEBLM 21« von Reichelt, und einen passenden Hohlstecker derselben Größe, z.B. »HS 21-14« von Reichelt. Stecker und Buchse sind in Abbildung 3-28 zu sehen.

Außerdem brauchst du Steckverbinder, die auf eine Lochrasterplatine passen, bei der die Löcher einen Abstand (d.h. ein Rastermaß) von 2,54 mm haben. Diese werden als Stiftleisten bzw. Buchsenleisten bezeichnet. Man kann sie als Streifen von 36 oder mehr Stiften kaufen und dann soviel abbrechen, wie man benötigt. Erhältlich sind sie bei allen Versendern von Elektronikbauteilen. Abbildung 3-29 zeigt die Leisten einmal, wie sie verkauft werden, und einmal auf die richtige Länge gekürzt. Achte darauf, das das Rastermaß 2,54 mm (0,1 Zoll) beträgt.

Abbildung 3-27. *Diese Anschlüsse nennt man Polklemmen. Sie ermöglichen lötfreie Verbindungen mit Drähten, deren Enden abisoliert sind. Sie sind auch in anderen Farben erhältlich.*

Abbildung 3-28. *Die rechts abgebildete Buchse kann in ein Gehäuse montiert werden, um über den links abgebildeten Stecker Strom zu bekommen.*

Akku

Wenn du das Experiment 15 am Ende des Kapitels abgeschlossen hast und das Gerät ständig nutzen willst, brauchst du einen 12-Volt-Akku. Wenn du online danach suchst, findest du viele wiederaufladbare Bleigel-Akkus, die sich für Alarmanlagen eignen. Es gibt auch sehr kleine und günstige Akkus unter 10 Euro. Dazu brauchst du noch ein passendes Ladegerät, was auch ungefähr 10 Euro kostet.

Schalter und Relais

Du brauchst dasselbe zweipolige Umschaltrelais und denselben Kippschalter, die im Einkaufszettel von Kapitel 2 erwähnt wurden. Für das Experiment 15 brauchst du magnetische Reedschalter, die man an Türen und Fenstern anbringen kann und die bei vielen Händlern online erhältlich sind.

Du brauchst außerdem einen zweipoligen Taster vom Typ Ein-(Ein) mit Lötanschlüssen, z.B. Bestellnummer 701890 von Conrad (und eine passende Abdeckung).

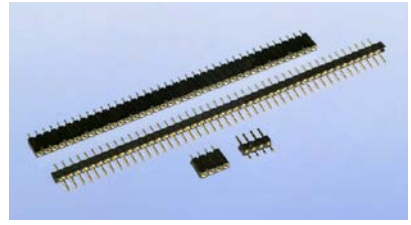


Abbildung 3-29. *Mit einreihigen Buchsenleisten (oben) und Stiftleisten (mittig) kannst du platzsparende Steckverbindungen auf einer Platine herstellen. Man kann sie auseinandersägen, schneiden oder brechen, um kleinere Stücke zu erhalten (unten). Die Stifte haben ein Rastermaß von 2,54 mm.*

Dioden

Kaufe mindestens ein halbes Dutzend rote 5-mm-LEDs, die für rund 2 Volt gedacht sind, außerdem dieselbe Anzahl an grünen LEDs. Der Hersteller ist nicht wichtig und man bekommt sie bei jedem Elektronikladen oder -versand. Außerdem brauchst du noch eine Signaldiode vom Typ 1N4001 (egal welche Marke). Abbildung 3-30 zeigt ein stark vergrößertes Beispiel. Sie sind billig und bei weiteren Projekten noch nützlich, also kaufe zehn davon.

Abbildung 3-30. *Diese 1N4001-Diode ist ungefähr 6 mm lang und kann bis zu 50 Volt aushalten.*

Lautsprecher

Um dein Projekt in Experiment 15 fertigzustellen, brauchst du einen Lautsprecher, der klein genug ist, um in dein Gehäuse zu passen, aber lauter als der 1-Zoll-Lautsprecher, den du vorher benutzt hast. Er sollte 50 bis 60 mm Durchmesser haben. Wenn du einen Lautsprecher mit 100 Ω finden kannst, wird er lauter sein, aber ein Lautsprecher mit 8 Ω reicht vollkommen aus.

Lötkolben werden heiß!

Bitte beachte diese grundsätzlichen Vorsichtsmaßnahmen:

Benutze einen richtigen Ständer (z.B. einen mit Schwamm oder helfenden Händen), um deinen Lötkolben abzulegen. Lege ihn nicht einfach auf deine Werkbank.

Wenn du kleine Kinder oder Haustiere hast, denke daran, dass sie möglicherweise mit deinem Lötkolben herumspielen, ihn anfassen oder am Kabel ziehen. Sie könnten sich (und dich) dabei verletzen.

Achte darauf, dass du die heiße Lötspitze nie auf dem Stromkabel des Lötkolbens ablegst. Sie schmilzt innerhalb von Sekunden durch die Isolierung und kann einen schlimmen Kurzschluss verursachen.

Wenn dir der Lötkolben herunterfällt, versuche nicht den Helden zu spielen, indem du ihn auffängst. Du erwischst dabei vermutlich das heiße Ende und das tut weh. (Ich spreche aus Erfahrung.) Wenn du dir die Hand verbrennst, lässt du sowieso instinktiv los. Du kannst dir in diesem Fall also den Zwischenschritt mit dem Verbrennen sparen und den Lötkolben einfach auf den Boden fallen lassen. Du solltest ihn natürlich so schnell wie möglich aufheben, nachdem er auf dem Boden liegt. Vorher hast du dann aber genug Zeit gehabt, um nachzudenken, welches Ende sich besser zum Anfassen eignet.

Du solltest auch immer im Hinterkopf behalten, dass die Gefahr für andere Menschen größer ist, sich am Lötkolben zu verletzten, weil sie nicht wissen können, dass er heiß ist. Die meisten Lötkolben haben keine Warnleuchte, die einen darauf hinweist, dass sie eingesteckt sind. Als Faustregel solltest du immer davon ausgehen, dass ein Lötkolben heiß ist, auch wenn er nicht eingesteckt ist. Und er ist vielleicht noch viel länger so heiß, dass du dich verbrennen könntest, als du denkst.

Experiment 12: Zwei Drähte miteinander verbinden

Deine Löt-Abenteuer fangen mit der nüchternen Aufgabe an, einen Draht mit einem anderen Draht zu verbinden. Du wirst aber schnell lernen, eine vollständige elektronische Schaltung auf einer Platine aufzubauen. Also fangen wir an!

Das brauchst du:

- Lötkolben mit 30 oder 40 Watt
- Feinlötkolben mit 15 Watt
- Dünnes Lötzinn (0,5 mm)
- Mittleres Lötzinn (1 mm)
- Abisolierzange und Seitenschneider
- »Helfende Hand«-Greifer, um dein Werkstück zu halten
- Schrumpfschläuche, diverse
- Heißluftpistole
- Eine Unterlage, die deinen Arbeitsplatz vor Lötzinntropfen schützt

Deine erste Lötstelle

Wir fangen mit dem Allzweck-Lötkolben an, der 30 bis 40 Watt haben sollte. Steck ihn in die Steckdose und achte darauf, dass er sicher im Halter steckt. Jetzt kannst du erst einmal fünf Minuten etwas anderes machen. Wenn du mit dem Löten anfängst, bevor der Lötkolben heiß genug ist, werden deine Lötverbindungen nicht gut.

Entferne die Isolierung an den Enden von zwei Drähten und klemme diese Drähte so mit deiner helfenden Hand ein, dass sie sich überkreuzen und berühren, wie in Abbildung 3-31 dargestellt.

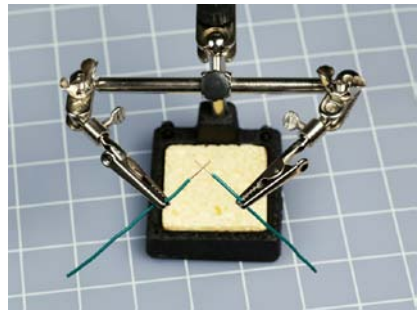


Abbildung 3-31. *Die helfende Hand hält hier zwei Drähte, deren blanke Enden sich berühren. Die Lupe ist weggedreht, damit sie nicht im Weg ist.*

Du kannst testen, ob der Lötkolben heiß genug ist, indem du ein Stück dünnes Lötzinn an die Spitze hältst. Das Lötzinn sollte sofort schmelzen. Wenn es nur langsam schmilzt, ist der Lötkolben noch nicht heiß genug.

Folge jetzt diesen Einzelschritten (die auch in den Abbildungen 3-32 bis 3-36 gezeigt werden):

1. Vergewissere dich, dass die Lötspitze sauber ist (wische sie gegebenenfalls am feuchten Schwamm am Ständer ab), und berühre dann damit ohne Unterbrechung die Stelle, an der sich die Drähte kreuzen, für drei Sekunden, um sie zu erhitzen. Wenn dein Leitungswasser einen hohen Härtegrad hat, befeuchte den Schwamm mit destilliertem Wasser, damit sich keine Kalkablagerungen an der Lötspitze bilden.
2. Halte den Lötkolben in dieser Stellung und bringe ein wenig Lötzinn an die Drahtkreuzung heran, so dass es auch die Lötspitze berührt. Die zwei Drähte, das Lötzinn und die Spitze des Lötkolbens sollten also alle an einem Punkt zusammenkommen. Das Lötzinn solle sich dann innerhalb von zwei Sekunden auf den Drähten verteilen.
3. Nimm den Lötkolben und das Lötzinn weg. Kühle die Lötstelle durch Anpusten. Nach etwa zehn Sekunden kann man sie anfassen, ohne sich zu verbrennen. Löse die Drähte aus den Klemmen und versuche, sie auseinander zu ziehen. Wenn du es nicht schaffst, sie zu trennen, sind die Drähte elektrisch verbunden und sollten es auch bleiben. Wenn deine Lötstelle nicht gut gelungen ist, kannst du die Drähte relativ leicht wieder trennen. In diesem Fall hast du nicht genug Hitze oder genug Lötzinn zugeführt, um sie zu verbinden.

Du solltest für diesen ersten Versuch den stärkeren Lötkolben verwenden, weil er mehr Hitze abgibt und dadurch einfacher zu benutzen ist.

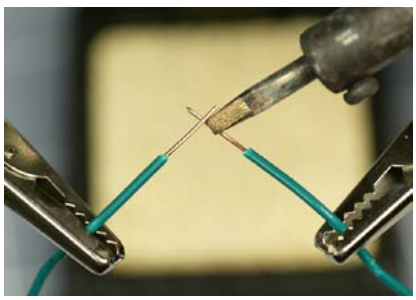


Abbildung 3-32

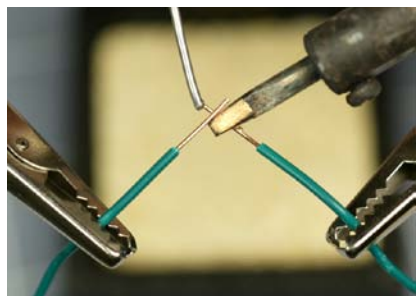


Abbildung 3-33

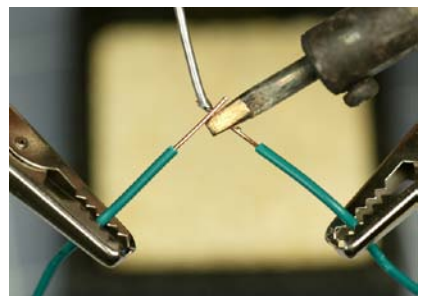


Abbildung 3-34

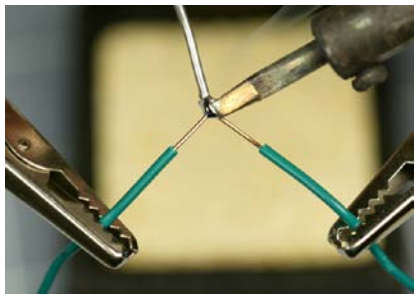


Abbildung 3-35. *Dieses und die drei vorherigen Fotos zeigen die vier Schritte bis zur Lötstelle: Erhitze die Drähte; führe das Lötzinn heran, während du weiter erhitzt; warte, bis das Lötzinn zu schmelzen beginnt, und warte noch einen Augenblick länger, bis es eine vollständig geschmolzene Kugel ergibt. Der gesamte Vorgang sollte zwischen 4 und 6 Sekunden dauern.*

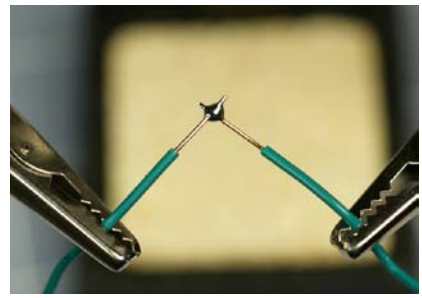


Abbildung 3-36. *Die fertige Lötstelle sollte glänzen und einheitlich rund geformt sein.*

HINTERGRUNDWISSEN

Löt-Legenden

Legende Nummer 1: Löten ist sehr schwierig.

Millionen von Menschen haben gelernt, wie man lötet. Statistisch gesehen bist du wahrscheinlich nicht unfähiger als alle anderen. Ich hatte mein ganzes Leben lang ein Problem mit zitternden Händen, so dass es für mich schwierig war, kleine Dinge ruhig festzuhalten. Außerdem werde ich bei sich wiederholender Detailarbeit schnell ungeduldig. Wenn ich es schaffe, Bauteile zu verlöten, sollte es auch fast jeder andere hinbekommen.

Legende Nummer 2: Löten hat mit giftigen Chemikalien zu tun.

Modernes Lötzinn enthält kein Blei. Du solltest es vermeiden, die Dämpfe über einen längeren Zeitraum einzuatmen, das gilt aber auch für alltägliche Produkte wie Bleiche und Lackfarbe. Wenn Löten ein deutliches Gesundheitsrisiko darstellen würde, hätte es schon vor Jahrzehnten hohe Todeszahlen unter Hobby-Elektronikern gegeben.

Legende Nummer 3: Löten ist gefährlich.

Ein Lötkolben ist weniger gefährlich als ein Bügeleisen, weil er weniger Hitze abgibt. Nach meiner Erfahrung ist Löten sogar sicherer als die meisten anderen Aktionen, die man zuhause im Werkzeugkeller durchführen kann. Das heißt natürlich nicht, dass du leichtsinnig sein solltest!

Alternativen zum Löten

Bis in die 1950er Jahre wurden die Verbindungen in Elektrogeräten wie z.B. Radios noch von Fließbandarbeitern von Hand gelötet. Die rasche Zunahme von Telefonzentralen erzeugte den Bedarf nach einer effizienteren Methode, eine große Anzahl von Drahtverbindungen schnell und sicher herzustellen. Die »Drahtwickelverbindung« (engl. »wire-wrap«) wurde eine brauchbare Alternative.

Bei einem Aufbau mit Wickelverbindungen werden die elektronischen Bauteile auf einer Platine montiert, aus deren Unterseite lange scharfkantige vergoldete Stifte mit quadratischem Querschnitt herausstehen. Es wird spezieller versilberter Draht verwendet, dessen Enden ein Zoll abisoliert sind. Mit einem manuellen oder motorgetriebenen Wickelwerkzeug wird das Drahtende um einen Stift gewickelt. Dabei wird soviel Spannung aufgebaut, dass die weiche Silberbeschichtung des Drahtes mit dem Stift »kaltverschweißt« wird.

Durch den Wickelvorgang wird genug Druck ausgeübt, um eine sehr verlässliche Verbindung herzustellen, gerade weil sieben bis neun Umwicklungen mit dem Draht gemacht werden, die jede alle vier Kanten des Stifts berühren.

In den 1970er und 1980er Jahren wurde diese Methode von Tüftlern eingesetzt, die ihre eigenen Heimcomputer bauten. Eine Platine mit Wickelverbindungen aus einem von Hand gebauten Computer ist in Abbildung 3-37 zu sehen. Die Technik wurde auch bei der NASA eingesetzt, um den Computer zu verdrahten, der mit dem Apollo-Raumschiff zum Mond geflogen ist. Heutzutage gibt es kaum kommerzielle Anwendungen für Drahtwickelverbindungen.

Der in der Industrie weit verbreitete Gebrauch von »bedrahteten« Bauteilen zur Durchsteckmontage (engl. through-hole), wie z.B. der Chips in frühen Desktop-Computern, führte zur Entwicklung des Wellenlötens. Dabei wird die Unterseite einer vorgeheizten Platine, in die die Chips eingesetzt wurden, einer Welle oder einem Wasserfall von geschmolzenem Lötzinn ausgesetzt. Durch eine Methode zur Maskierung wird verhindert, dass das Lötzinn dort haften bleibt, wo es nicht gewollt ist.

Heute werden so genannte »surface-mounted devices« (Bauelemente für Oberflächenmontage), die viel kleiner sind als bedrahtete Bauteile, mit Lötpaste auf eine Platine geklebt und dann der gesamte Aufbau erhitzt, so dass die Paste schmilzt und dabei eine dauerhafte Verbindung herstellt.

Abbildung 3-37. *Dieses Bild zeigt einen Teil der Drahtwickelverbindungen in Steve Chamberlins selbstgebautem Retro-8-Bit-Prozessor und -Computer. Früher wäre es ein unverhältnismäßig zeitaufwändiges und fehleranfälliges Unterfangen gewesen, ein solches Netz von Drähten mit Lötstellen zu verbinden. Foto: Steve Chamberlin.*

HANDWERKSZEUG

Die acht häufigsten Fehler beim Löten

1. Zu wenig Hitze.

   Die Lötstelle sieht gut aus, aber weil du nicht genug Hitze hinzugeführt hast, ist das Lötzinn nicht weit genug geschmolzen, um seine innere Molekularstruktur zu ändern. Es ist körnig geblieben, anstatt zu einem homogenen, festen Klumpen zu werden. Du hast am Ende eine »kalte Lötstelle«, die sich wieder löst, wenn du die Drähte voneinander wegziehst. Erhitze die Lötstelle richtig und füge neues Lötzinn hinzu.

   Ein Hauptgrund, warum Lötzinn nicht richtig erhitzt wird, ist die Versuchung, mit dem Lötkolben das Lötzinn an die richtige Stelle zu bewegen. Du machst es dann richtig, wenn du mit dem Lötkolben zuerst die Drähte berührst, um sie zu erhitzen, und dann das Lötzinn heranführst. Auf diese Weise sind die Drähte heiß und helfen dabei, das Lötzinn zu schmelzen, das nun an ihnen haften bleiben will.

   Weil dies ein so häufig gemachter Fehler ist, wiederhole ich mich hier: *Schmelze niemals das Lötzinn mit der Spitze des Lötkolbens und bewege es dann damit zur Lötstelle.*

   Du willst nicht heißes Lötzinn auf kalte Drähte tun.
   Du willst kaltes Lötzinn auf heiße Drähte tun.

2. Zu viel Hitze.

   Dadurch wird die Lötstelle nicht beschädigt, aber möglicherweise alles im Umkreis. Kunststoffummantelungen schmelzen, dabei wird der Draht freigelegt und die Gefahr eines Kurzschlusses erhöht. Auch Halbleiter können sehr leicht beschädigt werden und sogar die Kunststoffteile im Inneren von Schaltern und Verbindungssteckern geschmolzen werden.

   Kaputte Bauteile müssen herausgelötet und ersetzt werden. Das dauert lange und ist oft auch umständlich. (siehe »Werkzeuge: Entlöten« auf Seite 109 für Tipps)

3. Zu wenig Lötzinn.

   Eine dünne Verbindung zwischen zwei Leitern ist oft nicht genug. Wenn du zwei Drähte verlötest, überprüfe auch immer die Rückseite der Lötstelle und vergewissere dich, dass das Lötzinn ganz durchgesickert ist.

4. Die Lötstelle bewegen, bevor das Lötzinn fest geworden ist.

   Du könntest einen Riss erzeugen, den man gar nicht sehen kann. Deine Schaltung wird möglicherweise funktionieren, aber irgendwann in der Zukunft kann der Riss durch Vibration oder Temperaturschwankungen so groß werden, dass der elektrische Kontakt unterbrochen wird. Das wird eine sehr lästige Fehlersuche nach sich ziehen. Wenn du Bauteile festspannst, bevor du sie verlötest hast oder eine Platine benutzt, die die Bauteile festhält, kannst du dieses Problem vermeiden.

5. Schmutz oder Fett.

   Lötzinn für Elektriker enthält ein Flussmittel, dass das Metall reinigt, mit dem du arbeitest. Dennoch können Fremdkörper verhindern, dass das Lötzinn haften bleibt. Wenn ein Bauteil verschmutzt aussieht, reinige es mit feinem Sandpapier, bevor du es verlötest.

6. Kohlenstoff auf der Lötspitze.

   Am Lötkolben sammeln sich während des Gebrauchs nach und nach dunkle Kohlenstoffflecken an, die den Hitzetransfer behindern können. Wische die Lötspitze am Schwämmchen ab, das im Fuß deines Lötkolbenhalters oder der helfenden Hand angebracht ist.

7. Falsche Materialien.

   Lötzinn ist für elektronische Bauteile gedacht. Es funktioniert nicht zusammen mit Aluminium, rostfreiem Stahl und verschiedenen anderen Metallen. Es kann an verchromten Gegenständen haften bleiben, was aber immer mit Schwierigkeiten verbunden ist.

8. Die Lötstelle nicht überprüfen.

   Gehe nicht einfach davon aus, dass die Lötstelle gelungen ist. Unterziehe sie immer einem Test, indem du mit den Händen daran ziehst (in Abbildungen 3-38 und 3-39 sieht man, wie es geht) oder (wenn du die Lötstelle nicht greifen kannst) einen Schraubenzieher darunter steckst und ein wenig drehst oder versuchst, sie mit einer kleinen Zange auseinander zu ziehen. Mache dir keine Sorgen, dass du dein Werk zerstörst. Wenn deine Lötstelle sich löst, wenn sie belastet wird, war es keine gute Lötstelle.

Von diesen acht Fehlern sind kalte Lötstellen mit Abstand am schlimmsten, weil sie leicht entstehen, aber oft nicht bemerkt werden.

Abbildung 3-38. *Testergebnis einer schlechten Lötstelle.*

Abbildung 3-39. *Testergebnis einer guten Lötstelle.*

Deine zweite Lötstelle

Jetzt kannst du deinen zweiten Lötkolben ausprobieren. Den solltest du ebenfalls erst für rund fünf Minuten eingesteckt lassen, damit er heiß genug ist. Vergiss nicht, in der Zwischenzeit deinen anderen Lötkolben auszustecken und ihn sicher abkühlen zu lassen.

Diesmal möchte ich, dass du die Drähte parallel zueinander legst. Es ist etwas schwieriger, sie so zu verlöten, als wenn sie sich überkreuzen, stellt aber eine notwendige Fertigkeit dar. Wenn du diese Technik nicht verwendest, kannst du keinen Schrumpfschlauch über die fertige Lötstelle schieben, um sie zu isolieren.

Die Abbildungen 3-40 bis 3-44 zeigen eine solche funktionierende Lötstelle. Die zwei Drahtenden müssen sich nicht auf der ganzen Länge berühren: Das Lötzinn füllt kleine Lücken aus. Die Drähte müssen aber heiß genug sein, damit das Lötzinn verlaufen kann, was mit dem Feinlötkolben mit geringer Leistung einige Sekunden länger dauern kann.

Achte darauf, das Lötzinn so wie in den Bildern dargestellt einzubringen. Merke dir: Versuche nicht, das Lötzinn mit der Lötspitze an die Lötstelle heranzubefördern. Erhitze erst die Drähte und dann berühre mit dem Lötzinn die Drähte und die Spitze des Lötkolbens, die weiter Kontakt zu den Drähten hat. Warte, bis das Lötzinn flüssig wird, dann sollte es von selbst in die Verbindung fließen. Wenn das nicht passiert, sei geduldig und erhitze die Drähte etwas länger.

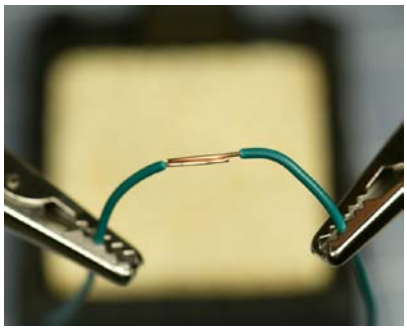


Abbildung 3-40

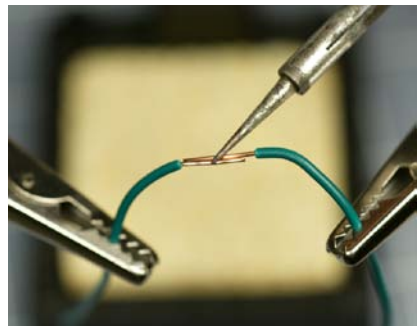


Abbildung 3-41

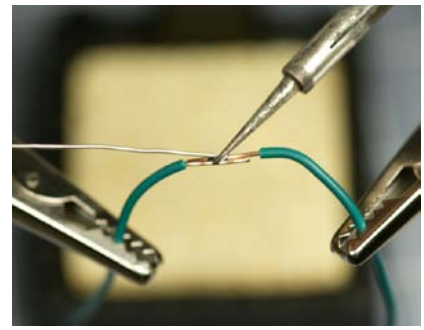


Abbildung 3-42

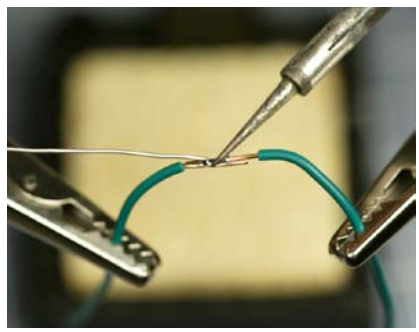


Abbildung 3-43. *Dieses und die drei vorherigen Fotos zeigen, dass es schwieriger ist, parallel liegende Drähte zu verlöten, und dass der leistungsarme Feinlötkolben länger braucht, um sie soweit zu erhitzen, dass eine gute Lötstelle entsteht. Man kann hierfür dünneres Lötzinn benutzen.*

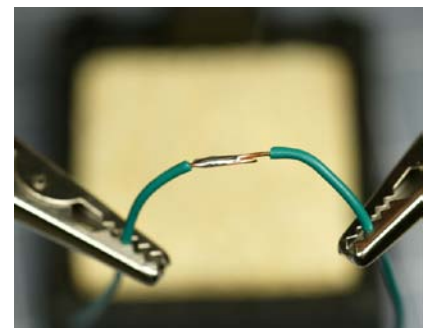


Abbildung 3-44. *Die fertige Lötstelle hat die richtige Menge an Lötzinn, um zu halten. Es ist aber nicht so viel, dass kein Schrumpfschlauch mehr darüber passt.*

THEORIE

Löttheorie

Je besser du den Vorgang des Lötens verstehst, desto einfacher sollte es für dich sein, gute Lötstellen hinzubekommen.

Die Lötspitze ist heiß. Diese Hitze willst du in die Lötstelle leiten, die du herstellen willst. Du solltest dir in dieser Situation die Hitze wie eine Flüssigkeit vorstellen. Je größer die Verbindung zwischen dem Lötkolben und der Lötstelle ist, desto größer ist die Menge an Hitze, die pro Sekunde hindurch fließen kann.

Aus diesem Grund solltest du den Lötkolben in einem solchen Winkel halten, dass er den größtmöglichen Kontakt herstellt. Wenn er die Drähte nur an einer kleinen Stelle berührt, begrenzt du die Menge der fließenden Hitze. Die Abbildungen 3-45 und 3-46 veranschaulichen diesen Gedanken. Sobald das Lötzinn zu schmelzen beginnt, erweitert es die Kontaktfläche. Dadurch wird mehr Hitze umgeleitet, so dass der Vorgang sich von selbst beschleunigt. Ihn anzustoßen ist hier der schwierige Teil.

Du solltest noch einen anderen Aspekt beim Hitzefluss beachten: Hitze kann von den Stellen weggeleitet werden, an denen du sie brauchst und an andere Stellen fließen, wo du sie nicht willst. Wenn du einen sehr dicken Kupferdraht löten willst, kann die Lötstelle möglicherweise nie heiß genug werden, um das Lötzinn zu schmelzen, weil der schwere Draht die Hitze von der Lötstelle wegleitet. Auch mit einem 40-Watt-Lötkolben kann man in solchen Fällen nichts ausrichten. Wenn du große Teile verlöten willst, brauchst du also sicher noch einen stärkeren Lötkolben.

Als Faustregel kann man sagen: Wenn du eine Lötstelle nicht innerhalb von 10 Sekunden fertigstellen kannst, führst du nicht genug Hitze zu.

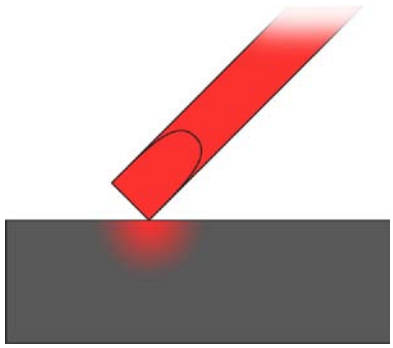


Abbildung 3-45. *Wenn es nur eine kleine gemeinsame Kontaktfläche zwischen dem Lötkolben und dem Werkstück gibt, wird nicht genug Hitze übertragen.*

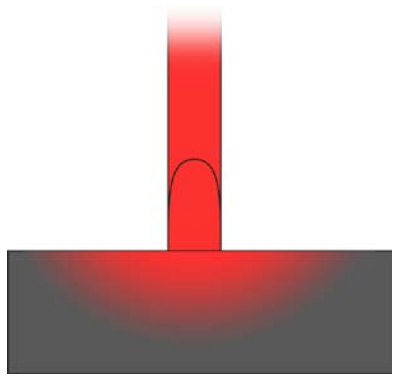


Abbildung 3-46. *Eine größere Kontaktfläche zwischen dem Lötkolben und dem Ziel verbessert den Hitzetransfer deutlich.*

HANDWERKSZEUG

Entlöten

Entlöten ist viel, viel schwieriger als Löten. Es gibt zwei Methoden:

- *Die Entlötpumpe.* Halte zuerst den Lötkolben an die Lötstelle, um das Lötzinn zu verflüssigen. Dann benutzt du dieses einfache Werkzeug, um so viel Flüssigkeit wie möglich aufzusaugen. In der Regel entfernt es nicht genug Zinn, um die Lötstelle zu lösen. Dann musst du es mit der nächsten Methode versuchen. Siehe Abbildung 3-10.
- *Entlötlitze.* Sie wird dazu verwendet, das Lötzinn von einer Lötstelle aufzusaugen, reicht aber ebenfalls nicht, um alles zu entfernen. Das bringt dich in die missliche Situation, mit beiden Händen zu versuchen, die Bauteile auseinander zu ziehen und gleichzeitig Hitze hinzu zu führen, damit das Lötzinn nicht wieder fest wird. Siehe dazu Abbildung 3-11.

Ich habe sonst keine gute Empfehlung, was das Entlöten angeht. Es ist eine frustrierende Erfahrung (denke ich jedenfalls) und kann Bauteile endgültig zerstören.

Heißluftpistolen werden auch heiß!

Du siehst das verchromte Stahlrohr an der Mündung deiner Heißluftpistole. Stahl ist teurer als Kunststoff, also hat der Hersteller es dort sicher aus gutem Grund eingesetzt. Der Grund ist der, dass die dort hindurch strömende Luft so heiß wird, dass sie ein Kunststoffrohr schmelzen würde.

Das Metallrohr bleibt auch mehrere Minuten nach Gebrauch noch so heiß, dass du dich daran verbrennen kannst. Genau wie beim Lötkolben sind deine Mitmenschen (und Haustiere) gefährdet, weil sie nicht unbedingt wissen, dass eine Heißluftpistole möglicherweise gerade heiß sein könnte. Achte vor allem darauf, dass niemand bei dir zuhause den Fehler begeht, eine Heißluftpistole mit einem Fön zu verwechseln. (Abbildung 3-47).

Abbildung 3-47. *Der Rest deiner Familie sollte wissen, dass der Schein trügt, auch wenn eine Heißluftpistole wie ein Fön aussieht.*

Dieses Gerät ist einfach etwas gefährlicher, als es aussieht.

Die Stelle isolieren

Nachdem du eine gute gerade Lötverbindung zwischen zwei Drähten hergestellt hast, kommt jetzt der einfache Teil. Nimm ein Stück Schrumpfschlauch, dass im Durchmesser noch über die Lötstelle passt, ohne zu weit zu sein.

Der Rest deiner Familie sollte wissen, dass der Schein trügt, auch wenn eine Heißluftpistole wie ein Fön aussieht.

Schiebe den Schlauch soweit, bis die Lötstelle genau in der Mitte liegt, halte alles vor deine Heißluftpistole und schalte sie ein. Deine Finger sollten außerhalb des sehr heißen Luftstroms bleiben. Drehe den Draht, so dass er rundum erhitzt wird. Der Schlauch sollte innerhalb einer halben Minuten zusammenschrumpfen und sich eng an die Lötstelle anlegen. Wenn du den Schrumpfschlauch überhitzt, kann er reißen. Dann solltest du ihn entfernen und es noch einmal versuchen. Sobald der Schlauch eng am Draht anliegt, bist du fertig, dann bringt es nichts mehr, ihn weiter zu erhitzen. Die Abbildungen 3-48 bis 3-50 zeigen das gewünschte Ergebnis. Ich benutze weißen Schrumpfschlauch, weil man ihn auf den Fotos gut erkennen kann. In ihrer Funktion gibt es bei verschiedenfarbigen Schläuchen keinen Unterschied.

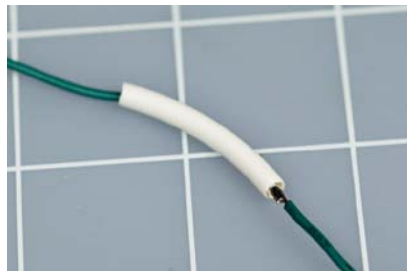


Abbildung 3-48. *Schiebe den Schrumpfschlauch über die Lötstelle.*

Abbildung 3-49. *Erhitze den Schrumpfschlauch.*

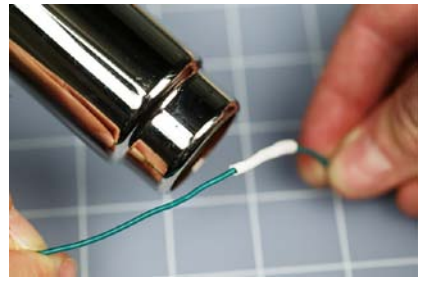


Abbildung 3-50. *Füge Hitze hinzu, bis der Schlauch zusammenschrumpft und die Lötstelle fest umschließt.*

Ich schlage vor, dass du deine Lötkenntnisse als nächstes an einigen praktischen Projekten übst.

Experiment 13: Brate eine LED

Du hast im Kapitel 1 gesehen, dass eine LED beschädigt wird, wenn zuviel Strom hindurch fließt. Der Strom hat Hitze erzeugt, die die LED schmelzen ließ. Es überrascht nicht, dass du eine LED genau so leicht durchschmelzen kannst, wenn du mit einem Lötkolben zu viel Hitze an ein Beinchen anlegst. Die Frage ist: Wie viel Hitze ist zuviel? Das finden wir jetzt heraus.

Das brauchst du:

- Lötkolben mit 30 bis 40 Watt
- Feinlötkolben mit 15 Watt
- Ein paar LEDs (die entbehrlich sind)
- 680-Ω-Widerstand
- Seitenschneider und Feinzange
- »Helfende Hand«-Werkzeug

Ich will nicht, dass du die LED mit Krokodilklemmen mit dem Netzteil verbindest, weil Krokodilklemmen die Hitze vom Lötkolben ablenken und aufnehmen. Stattdessen biege die Beinchen der LED mit einer spitzen Zange so, dass sie kleine Haken ergeben. Mache es bei einem 680-Ω-Widerstand genau so. Biege die neuen Drähte an deinem Netzteil ebenfalls so, dass sie kleine Haken bilden. Nun kannst du die Haken wie Kettenglieder aneinander hängen, wie man in Abbildung 3-51 sieht.

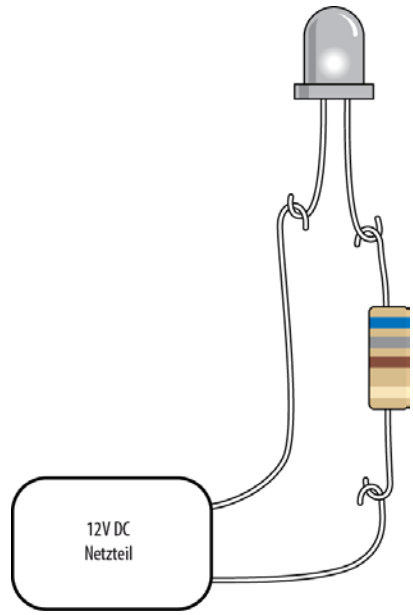


Abbildung 3-51. *Wenn wir die Drähte eines Widerstands und einer weißen LED aneinander hängen, bleiben der Hitze beim folgenden Test kaum noch Fluchtwege.*

Klemme das Kunststoffgehäuse der LED in der helfenden Hand ein. Plastik ist kein guter Wärmeleiter, die helfende Hand sollte also keine große Menge an Hitze von unserem Opfer ableiten. Der Widerstand kann von einem der Beinchen der LED hängen und der Draht des Netzteils weiter unten daran. Dank der Schwerkraft sollte das funktionieren. Schalte das Netzteil wie zuvor auf 12 Volt und stecke es ein. Die LED sollte hell leuchten. Ich habe für dieses Experiment eine weiße LED benutzt, weil man sie besser fotografieren kann.

Vergewissere dich, dass deine beiden Lötkolben wirklich heiß sind. Sie sollten für mindestens fünf Minuten eingesteckt sein. Nimm den Feinlötkolben und halte seine Spitze fest gegen eines der Beinchen der leuchtenden LED und schau dabei auf die Uhr. Abbildung 3-52 zeigt den Aufbau.

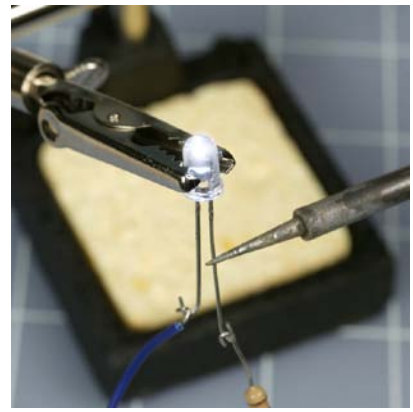


Abbildung 3-52. *Erhitzen mit einem 15-Watt-Lötkolben. Eine normale LED sollte diese Behandlung für zwei bis drei Minuten aushalten. Wenn du einen 30-Watt-Lötkolben nimmst, brennt die LED sicher in weniger als 15 Sekunden durch.*

Ich wette, dass du diese Berührung für ganze drei Minuten aufrecht erhalten kannst, ohne dass die LED durchbrennt. Deshalb benutzt man einen Lötkolben mit 15 Watt für empfindliche Elektronikarbeiten: Er gefährdet die Bauteile nicht.

Lasse das Beinchen der LED abkühlen und halte dann deinen stärkeren Lötkolben an dieselbe Stelle. Achte wieder darauf, dass er wirklich heiß ist. Ich vermute, dass die LED innerhalb von 10 Sekunden dunkel wird (es gibt natürlich LEDs, die länger mit hohen Temperaturen zurecht kommen als andere). Deshalb benutzt man *keinen* Lötkolben mit 30 Watt für empfindliche Elektronikarbeiten.

Der große Lötkolben erreicht dabei nicht unbedingt eine höhere Temperatur als der kleine. Er hat nur eine höhere Wärmekapazität. Anders gesagt kann dieser eine größere Hitzemenge schneller abgeben.

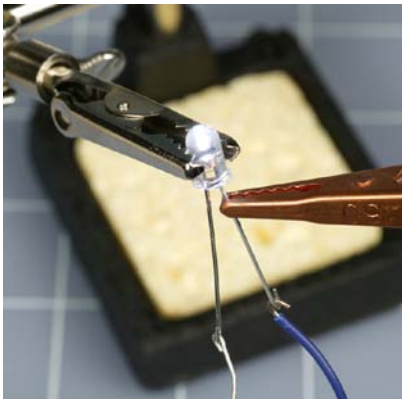


Abbildung 3-53. *Wenn du eine Kupfer-Krokodilklemme als Kühlkörper einsetzt, solltest du auch den 30-Watt-Lötkolben (unterhalb der Klemme) benutzen können, ohne die LED zu beschädigen.*

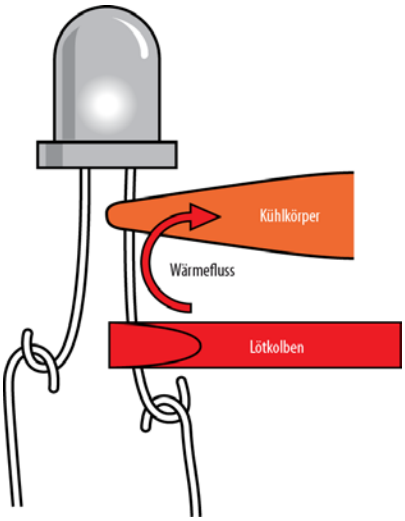


Abbildung 3-54. *Der Kühlkörper fängt die Hitze ab und saugt sie auf und schützt dabei die LED vor Schäden.*

Wirf deine ausgebrannte LED weg. Ersetze sie durch eine neue, die du wie vorher anschließt. Setze diesmal aber eine große Krokodilklemme aus Kupfer nahe am LED-Gehäuse auf eines der Beinchen, wie in Abbildung 3-53 gezeigt. Drücke die Lötspitze deines 30- oder 40-Watt-Lötkolbens an den Anschlussdraht direkt unterhalb der Krokodilklemme. Diesmal sollte es dir gelingen, den starken Lötkolben für ganze zwei Minuten auf diese Stelle zu halten, ohne dass die LED durchbrennt.

Stelle dir vor, wie die Hitze über die Spitze deines Lötkolbens in den Draht zur LED fließt. Auf dem Weg trifft die Hitze aber auf die Krokodilklemme, wie in Abbildung 3-54 zu sehen. Die Klemme ist wie ein leeres Gefäß, dass gefüllt werden kann. Sie hat einen viel geringeren Wärmewiderstand als der Rest des Drahtes, der zur LED führt, also fließt die Hitze lieber in die Kupferklemme und verschont die LED. Wenn du nach dem Experiment die Klemme anfasst, ist sie heiß, wogegen die LED vergleichsweise kühl geblieben ist.

Die Krokodilklemme bezeichnet man auch als Wärmesenke oder Kühlkörper. Sie sollte aus Kupfer sein, da Kupfer einer der besten Wärmeleiter ist.

Weil der Lötkolben mit 15 Watt die LED nicht beschädigt hat, könnte man daraus schließen, dass ein solcher Lötkolben vollständig sicher ist und man keinen Kühlkörper braucht. Das könnte funktionieren. Das Problem hierbei besteht darin, dass du nicht genau weißt, ob manche Halbleiter nicht hitzeempfindlicher als LEDs sind. Weil es oft wirklich ärgerlich ist, wenn ein Bauteil durchbrennt, schlage ich vor, dass du auf Nummer Sicher gehst und in folgenden Fällen einen Kühlkörper benutzt:

- Wenn du einen 15-Watt-Lötkolben für 20 Sekunden oder länger sehr nah an einen Halbleiter hältst.
- Wenn du einen 30-Watt-Lötkolben für 10 Sekunden oder länger nah an Widerstände und Kondensatoren hältst. (Benutze ihn nie für Halbleiter.)
- Wenn du einen 30-Watt-Lötkolben für 20 Sekunden oder länger nah an etwas Schmelzbares hältst. Das sind u.a. Isolierung an Drähten, Steckergehäuse aus Plastik und Plastikteile in Schaltern.

Regeln für Kühlkörper

1. Große Krokodilklemmen aus Kupfer funktionieren am besten.
2. Befestige die Krokodilklemme so nah wie möglich am Bauteil und so weit wie möglich von der Lötstelle entfernt. (Ansonsten leitest du zu viel Hitze von der Lötstelle ab.)
3. Achte darauf, dass eine Berührung zwischen Metall und Metall bei der Krokodilklemme und dem Beinchen existiert, damit die Wärme gut abgeleitet wird.

GRUNDLAGEN

Alles über Lochrasterplatinen

Im restlichen Verlauf des Buches wirst du immer Lochrasterplatinen benutzen, wenn du dauerhaft gelötete Schaltungen bauen willst. Dabei gibt es drei Möglichkeiten:

1. Punkt-zu-Punkt-Verdrahtung. Dazu benutzt du Lochrasterplatinen, bei denen die Löcher nicht verbunden sind. Entweder hat die Platine gar keine Kupferauflage, wie in Abbildung 3-70, oder um jedes Loch einen kleinen runden Kupferring wie in Abbildung 3-71. Diese Ringe sind nicht miteinander verbunden und werden nur dazu benutzt, die Bauteile besser auf der Platine zu befestigen.

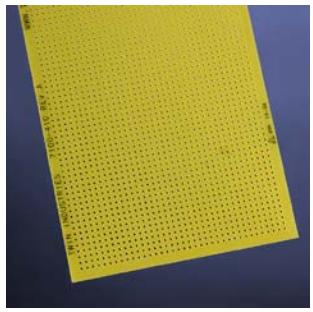


Abbildung 3-55

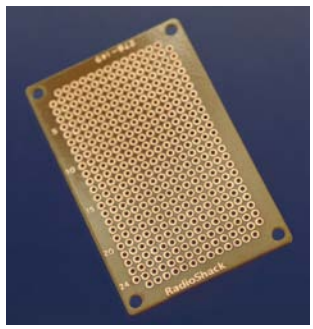


Abbildung 3-56. *Für die Punkt-zu-Punkt-Verdrahtung in Experiment 14 kann entweder diese Art Lochrasterplatine oder die in Abbildung 3-70 abgebildete benutzt werden.*

Mit Punkt-zu-Punkt-Verdrahtung kannst du die Bauteile praktisch und platzsparend aufbauen, so ähnlich wie auf dem Schaltplan. Auf der Unterseite der Platine biegst du die Beinchen zurecht, um die Bauteile zu verbinden, und verlötest sie. Wenn nötig, kannst du zusätzliche Drahtbrücken verwenden. Der Vorteil dieses Systems ist der, dass es sehr platzsparend ist. Der Nachteil besteht darin, dass die Schaltung sehr unübersichtlich wird, was zu Fehlern führen kann.

2. Verdrahtung wie auf Steckbrettern. Benutze dafür eine Lochrasterplatine, die mit Kupferleitungen beschichtet ist, die genau so angelegt sind wie die Leiter in einem Steckbrett. Sobald deine Schaltung auf dem Steckbrett funktioniert, verlagerst du die Bauteile nacheinander auf die Platine und behältst ihre relative Position zueinander bei. Die Beinchen der Bauteile werden an die Kupferstreifen gelötet, um die Schaltung zu verbinden. Dann knipst du die überstehenden Drähte ab. Der Vorteil dabei ist der, dass es sehr schnell geht, man keine großen Vorüberlegungen braucht und die Gefahr von Fehlern minimiert wird. Der Nachteil besteht darin, dass der Aufbau mehr Platz in Anspruch nimmt als nötig wäre. Ein günstiges Beispiel ist in Abbildung 3-72 zu sehen.

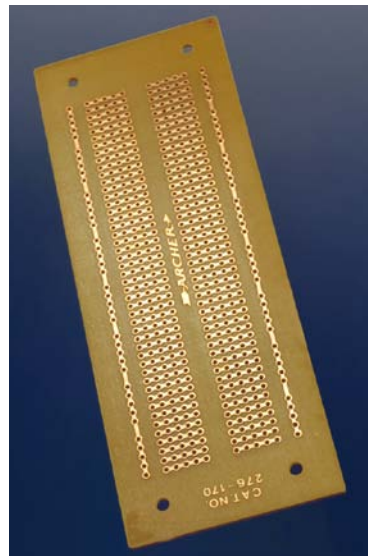


Abbildung 3-57. *Eine Platine mit Kupferbahnen, die wie bei einem Steckbrett angelegt sind. Dieses Beispiel eignet sich für Experiment 15.*

3. Du kannst auch eine Platine mit eigenen Kupferleitungen herstellen, die deine Bauteile in einem Punkt-zu-Punkt-Layout verbinden. Das ist die professionellste Lösung, wenn man ein Gerät baut. Es dauert länger, ist schwieriger und man braucht mehr Ausrüstung als man in diesem Buch beschreiben könnte.

   Punkt-zu-Punkt-Verdrahtung funktioniert so, als würde man mit Krokodilklemmen arbeiten, nur auf viel kleinerem Raum. Wir werden unser erstes Lötprojekt auf diese Weise aufbauen.

Experiment 14: Ein pulsierendes Glühen

Das brauchst du:

- Steckbrett
- Feinlötkolben mit 15 Watt
- Dünnes Lötzinn (0,5 mm)
- Abisolierzange und Seitenschneider
- Lochrasterplatine (Kupferbeschichtung ist nicht notwendig)
- Kleiner Schraubstock oder Zwinge, um die Lochrasterplatine festzuhalten
- Widerstände, diverse
- ELKEs, 100 µF und 220 µF, je einer
- Rote LED, 5 mm, für etwa 2 Volt
- Programmierbarer Unijunctiontransistor 2N6027

Deine erste Schaltung mit einem PUT war ein langsamer Oszillator, der eine LED etwa zwei Mal in der Sekunde blinken ließ. Das Blinken sah sehr »elektronisch« aus, damit meine ich, dass die LED an- und ausging, ohne Abstufung. Ich frage mich, ob wir diese Schaltung so verändern können, dass die LED sanfter und interessanter pulsiert, so wie die Kontrolleuchte an einem Apple MacBook im Ruhezustand. Sie sollte so klein und elegant sein, dass man sie als Schmuck tragen kann.

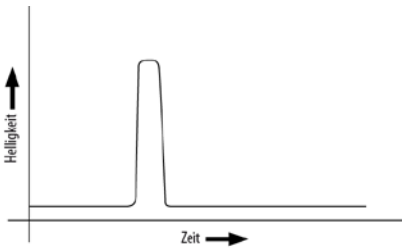


Abbildung 3-58

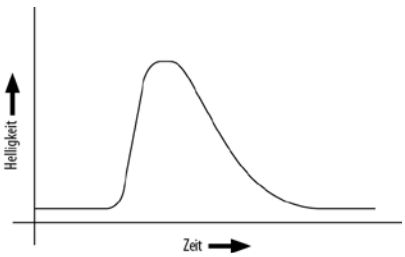


Abbildung 3-59. *Die ursprüngliche Oszillatorschaltung mit PUT im Experiment 11 ließ die LED kurz und mit scharfem Wechsel von An und Aus blinken. Wenn wir die Lichtabgabe über die Zeit messen würden, bekämen wir die obere Kurve. Die zweite Kurve zeigt einen sanfteren Anfang des Blinkens, gefolgt von einem langsamen Ausgehen. Diese Wirkung kann man Kondensatoren erzeugen.*

Ich glaube, das dieses erste Lötprojekt drei Ziele hat: Du kannst deine Fähigkeiten, Drähte zu verbinden, ausprobieren und verbessern. Du lernst, wie man Punkt-zu-Punkt-Verdrahtungen auf einer Lochrasterplatine herstellt. Außerdem erhältst du einen größeren Einblick in das Einstellen von Zeitintervallen mit Kondensatoren.

Schaue dir noch einmal den ursprünglichen Schaltplan in Experiment 11 auf Seite 82 an. Erinnere dich daran, wie es funktionierte. Der Kondensator wird durch einen Widerstand geladen, bis er genügend Spannung hat, um den Innenwiderstand im PUT zu überwinden. Dann entlädt sich der Kondensator durch den PUT und lässt die LED blinken.

Wenn du das Licht der LED in ein Diagramm eintragen würdest, wäre es ein dünner, rechteckiger Impuls wie in Abbildung 3-58. Wie können wir dies so ändern, dass es stärker der Kurve in Abbildung 3-59 ähnelt und die LED wie ein Herzschlag sanft an- und ausgedimmt wird?

Eine Sache ist klar: Die LED wird in jedem Durchgang eine größere Gesamtmenge an Licht abgeben. Daher braucht sie mehr Leistung. Das bedeutet, dass C1 (Abbildung 3-60) ein größerer Kondensator sein muss.

Wenn man einen größeren Kondensator hat, braucht dieser länger, um sich aufzuladen. Damit die Blinkgeschwindigkeit halbwegs gleich bleibt, brauchen wir für R1 einen Widerstand mit einem kleineren Wert, damit der Kondensator schnell genug geladen wird. Außerdem kann man die Werte für R2 und R3 reduzieren, um den PUT für einen längeren Impuls zu programmieren.

Noch wichtiger ist folgender Aspekt: Ich will den Kondensator durch einen Widerstand entladen, damit der Impuls allmählich und nicht plötzlich startet. Vergiss nicht, dass ein Kondensator sich nicht nur langsamer auflädt, sondern auch langsamer entlädt, wenn ein Widerstand in Reihe geschaltet ist.

Abbildung 3-60 zeigt diese Eigenschaften. Schau dir zum Vergleich die Abbildung 2-103 auf Seite 85 an. R1 hat jetzt 33 kΩ anstelle von 470 kΩ. R2 und R3 haben nur noch einen Wert von 1 kΩ. R4 ist ebenfalls 1 kΩ groß, damit es länger dauert, bis sich der Kondensator durch diesen entlädt. C1 hat jetzt 100 µF anstelle von 2,2 µF.

Bau diese Schaltung auf einem Steckbrett auf und vergleiche das Ergebnis, das sich ergibt, wenn du mit R4 eingesetzt hast, einmal mit dem, das herauskommt, wenn du ihn mit einem Stück Schaltdraht überbrückst. Der Impuls wird dann etwas weicher, aber das können wir noch verbessern. Wir können am Ausgang des PUT einen weiteren Kondensator hinzufügen. Dieser wird sich aufladen, wenn der Impuls aus dem PUT kommt, und dann wieder durch einen anderen Widerstand entladen, so dass das Licht der LED langsamer verglimmt.

Abbildung 3-61 zeigt den Aufbau. C2 ist groß, 220 µF, also saugt er den Impuls auf, der aus dem PUT kommt, und entlässt ihn langsam durch den 330-Ω-Widerstand R5 und die LED. Wie du siehst, verhält sich die LED jetzt anders und wird nun langsam dunkler, anstelle einfach auszugehen. Die hinzugefügten Widerstände lassen die LED aber weniger hell leuchten. Damit sie heller wird, solltest du das Netzteil von 6 auf 9 Volt stellen.

Merke dir, dass ein Kondensator nur dann eine glättende Wirkung hat, wenn er mit einer Seite am Minuspol der Spannungsversorgung »geerdet« ist. Das Vorhandensein der negativen Ladung auf dieser Seite zieht den positiven Impuls auf die andere Seite.

Ich mag es, wie dieser Herzschlag-Effekt aussieht. Ich kann mir ein Teil tragbarer Elektronik vorstellen, das auf diese sinnliche Art pulsiert, ganz anders als das eckige, übergangslose Ein und Aus einer einfachen Oszillatorschaltung. Es bleibt die Frage, ob man die Bauteile in ein Format quetschen kann, das so klein ist, dass man es tragen kann.

Abbildung 3-62. *In dunklen Nächten im ländlichen Raum kann der Herz-Blinker unerwartet anziehend wirken.*

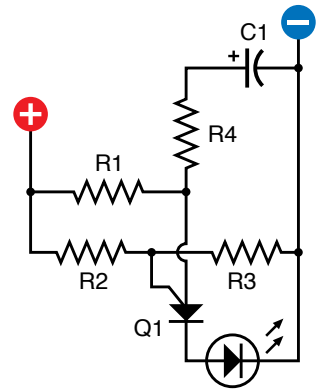


Abbildung 3-60. *Der erste Schritt, um ein sanfteres Blinken zu erzeugen, ist die Benutzung eines größeren Kondensators für C1, der durch einen Widerstand R4 entladen wird. Wir brauchen kleinere Widerstände, damit der Kondensator schnell genug geladen wird.*

R1: 33 kΩ
R2: 1 kΩ
R3: 1 kΩ
R4: 1 kΩ
C1: 100 µF Elko
Q1: 2N6027

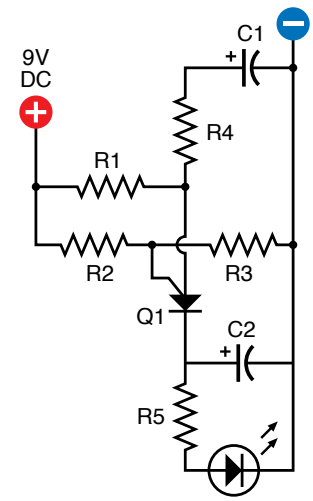


Abbildung 3-61. *Der zweite Schritt, um ein sanfteres Blinken zu erzeugen, besteht darin, noch einen Kondensator, C2, einzubauen. Dieser lädt sich schnell bei jedem Impuls auf und entlädt sich langsam durch R5 und die angeschlossene LED.*

Dieselben Bauteile wie vorher, dazu:
R5: 330 Ω
C2: 220 µF Elko
Einstellung des Netzteils auf 9 Volt erhöht

Die Schaltung verkleinern

Der erste Schritt besteht darin, sich die Bauteile anzusehen und sich vorzustellen, wie sie auf kleinem Raum Platz finden können. Abbildung 3-63 zeigt eine dreidimensionale Ansicht einer kompakten Anordnung. Wenn du diese sorgfältig überprüfst, indem du alle Pfade der Schaltung verfolgst, siehst du, dass sie genau dem Schaltplan entspricht. Das Problem dabei ist dies, dass es nicht besonders stabil ist, wenn wir die Bauteile einfach zusammenlöten. Die ganzen dünnen Drähte verbiegen sich leicht und es gibt keine einfache Möglichkeit, die Schaltung irgendwo ein- oder aufzubauen.

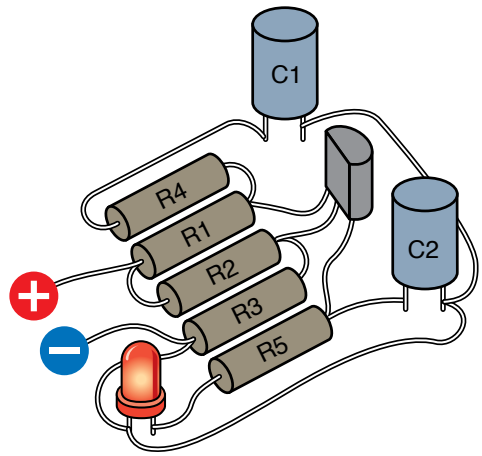


Abbildung 3-63. *Diese Anordnung der Bauteile orientiert sich an den Verbindungen im Schaltplan und braucht dabei den geringstmöglichen Platz.*

Die Antwort liegt darin, die Schaltung auf einem Substrat, also einem Trägerstoff, zu montieren. Dazu benutzen wir eine »Lochrasterplatine«. Abbildung 3-64 zeigt die Bauteile auf einem Stück Platine, das nur 2,5 mal 2 cm groß ist.

In der mittleren Abbildung des Aufbaus zeigen gestrichelte Linien an, wie die Bauteile an der Unterseite der Platine miteinander verbunden werden. In den meisten Fällen sind die Drähte, die von den Bauteilen abgehen, lang genug, um diese Verbindungen herzustellen.

Die unterste Abbildung des Aufbaus zeigt die umgedrehte Lochrasterplatine (beachte, dass L und R vertauscht sind und ich eine dunklere Farbe benutzt habe, um die Rückseite der Platine zu veranschaulichen). Die orangen Kreise zeigen an, wo Lötstellen notwendig sind.

Die LED sollte abgesteckt werden können, weil wir sie vielleicht mit etwas Entfernung von der restlichen Schaltung betreiben wollen. Die Spannungsversorgung sollte auch absteckbar sein. Zum Glück können wir kleine Steckverbinder kaufen, die genau in die Lochrasterplatine passen. Diese sind online bei Elektronikversendern wie Conrad oder Reichelt erhältlich. Man findet sie als »Stiftleisten« und »Buchsenleisten«. Richte dich nach Abbildung 3-29 und lies im Einkaufszettel für mehr Details nach.

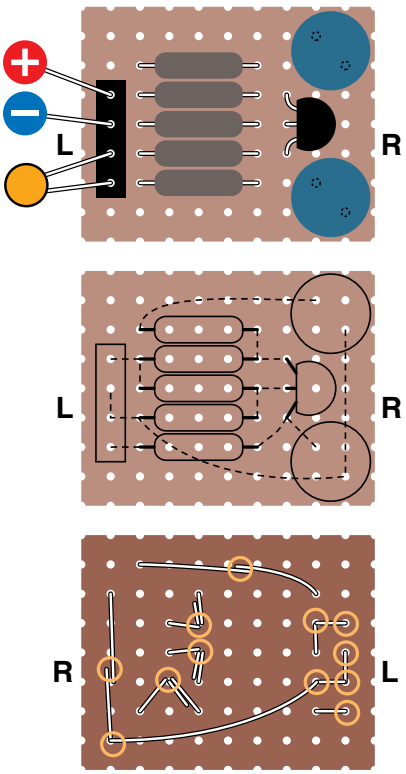


Abbildung 3-64. *Eine Lochrasterplatte kann benutzt werden, um den Aufbau der Bauteile zu unterstützen. Die Beinchen werden auf der Rückseite zusammengelötet, um die Schaltung zu erzeugen. Die mittlere Zeichnung zeigt die Drähte unter der Platine als gestrichelte Linien. Die unterste Zeichnung zeigt die Platine von unten, links und rechts sind vertauscht. Die orangen Kreise zeigen an, wo Lötstellen nötig sind.*

Dies ist ein sehr kompakter Aufbau, bei dem du sehr sorgfältig mit deinem Feinlötkolben arbeiten musst. Weil ein so kleines Stück Lochrasterplatine tendenziell wegrutscht, schlage ich vor, dass du deinen kleinen Schraubstock an einer Kante befestigst und die Platine so in ihrer Position hältst, dabei aber immer noch beide Seiten erreichbar sind.

Wenn ich an solch einem Projekt arbeite, lege ich die Platine (mit dem Schraubstock) gerne auf ein Stück weichen Schaumstoff (Polyurethan, so wie es für Sitzkissen benutzt wird). Der Schaumstoff schützt die Bauteile vor Beschädigungen, wenn die Platine auf dem Kopf liegt, und verhindert außerdem, dass das Werkstück unkontrolliert herumrutscht.

Schritt für Schritt

Hier ist eine genaue Anleitung, wie du die Schaltung aufbaust:

1. Säge oder schneide das kleine Stück Lochrasterplatine aus einem größeren Stück ohne Kupferbeschichtung aus. Du kannst das Stück mit deiner kleinen Stichsäge aussägen. Du kannst auch versuchen, die Platine vorsichtig entlang einer Reihe von Löchern abzubrechen. Stattdessen kannst du auch eine kleine Platine der richtigen Größe benutzen, auf der Lötpunkte aus Kupfer aufgebracht sind. Diese Kupferringe kannst du bei diesem Projekt vernachlässigen. (Im nächsten Experiment musst du dafür zusätzlich Verbindungen zwischen Bauteilen und den Leitbahnen auf der Lochrasterplatine herstellen.)
2. Lege dir alle Bauteile zurecht und stecke sie vorsichtig durch die Löcher in der Platine. Zähle dabei die Löcher ab, um sicherzugehen, dass alles an der richtigen Stelle steckt. Drehe die Platine um und biege die Drähte der Bauteile, damit sie nicht herausfallen und die abgebildeten Verbindungen entstehen. Wenn einer der Drähte nicht lang genug ist, musst du ihn mit einem kurzen Stück Schaltdraht verlängern. Du kannst die Isolierung komplett entfernen, weil wir die Platine auf einem Stück nichtleitendem Plastik montieren werden.
3. Kürze die Drähte mit deinem Seitenschneider ungefähr auf die richtige Länge.
4. Benutze deinen Feinlötkolben, um die Lötstellen herzustellen. Achte darauf, dass du in dieser Schaltung nur Drähte mit Drähten verbindest. Die Bauteile liegen so nah beieinander, dass sie einander davon abhalten, zu viel zu wackeln. Wenn du eine Platine mit Kupferlötpunkten benutzt, ist es nicht schlimm, wenn das Lötzinn sich mit diesen verbindet, solange es dadurch nicht zu einem Kurzschluss zwischen benachbarten Bauteilen kommt.
5. Überprüfe jede Lötstelle mit einer Lupe und wackele mit der Spitzzange daran. Wenn nicht genug Lötzinn für eine wirklich feste Verbindung vorhanden ist, erhitze die Stelle erneut und füge mehr Lötzinn hinzu. Wenn das Lötzinn eine Verbindung dort hergestellt hat, wo keine hingehört, schneide mit einem Cuttermesser zwei parallele Schnitte in das Lötzinn und kratze den Teil dazwischen weg.

Fliegende Drahtstückchen

Die Backen deines Seitenschneiders üben eine große Kraft aus, die ihr Maximum erreicht und dann plötzlich frei wird, wenn der Draht durchtrennt wird. Diese Kraft kann in einer plötzlichen Bewegung des abgeknipsten Drahtendes münden. Einige Drähte sind relativ weich und stellen keine Gefahr da. Härtere Drähte können aber mit hoher Geschwindigkeit in unvorhersehbare Richtungen fliegen und können in deinem Auge landen. Die Beinchen von Transistoren sind dabei besonders gefährlich.

Ich denke, dass es keine schlechte Idee ist, beim Kürzen von Drähten eine Schutzbrille zu tragen.

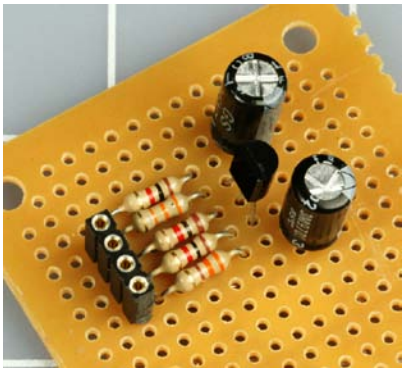


Abbildung 3-65. *Die Bauteile auf einem Stück Lochrasterplatine.*

Abbildung 3-66. *Der ganze Aufbau von unten gesehen. Die Kupferringe um die Löcher sind für dieses Projekt nicht nötig. Einige von ihnen haben etwas Lötzinn aufgenommen. Das ist aber egal, solange dadurch keine Kurzschlüsse verursacht werden.*

In der Regel stecke ich drei bis vier Bauteile ein, kürze die Drähte ungefähr passend, verlöte alles, kürze die Drähte endgültig und mache dann eine Pause, um die Lötstelle und die Anordnung zu überprüfen. Wenn ich zu viele Bauteile in einem Rutsch verlöte, gibt es ein größere Gefahr, eine schlechte Lötstelle zu übersehen. Wenn ich bei der Position eines Bauteils einen Fehler mache, ist es schwieriger, diesen zu beheben, wenn rundherum schon viele weitere Bauteile verlötet sind.

Die Abbildung 3-65 und 3-66 zeigen meinen Aufbau des Projekts, bevor ich die Platine auf die minimale Größe zurechtgeschnitten habe.

Die Arbeit abschließen

Ich arbeite immer bei sehr hellem Licht. Das ist kein Luxus, sondern eine Notwendigkeit. Kaufe dir eine billige Schreibtischlampe, wenn du keine hast. Ich benutze eine Lampe mit einer Neonröhre, die das Tageslichtspektrum abgibt, weil ich damit die Farbringe auf Widerständen zuverlässiger erkennen kann. Diese Leuchtmittel geben viel ultraviolettes Licht ab, was der Linse in deinem Auge nicht guttut. Vermeide es daher, länger direkt in die Lampe zu schauen. Wenn du eine Brille trägst, schützt diese zusätzlich.

Egal, wie gut dein Sehvermögen im Nahbereich ist, du musst jede Lötstelle mit der Lupe überprüfen. Du wirst überrascht sein, wie unvollständig manche sein werden. Halte die Lupe so nah wie möglich an dein Auge und dann nimm das Teil, dass du untersuchen willst, und führe es an die Lupe heran, bis du es scharf erkennen kannst.

Am Ende solltest du eine funktionierende Schaltung haben. Du kannst die Drähte an deinem Netzteil in die zwei kleinen Strombuchsen stecken und eine rote LED in die anderen zwei Buchsen. Vergiss nicht, dass die beiden mittleren Buchsen negativ sind und die zwei außen liegenden positiv, weil es so einfacher zu verdrahten war. Du solltest sie farblich markieren, um Fehler zu vermeiden.

Jetzt hast du also eine kleine Schaltung, die wie ein Herzschlag pulsiert. Oder nicht? Wenn du Schwierigkeiten hast, sie ans Laufen zu bekommen, verfolge jede Verbindung und vergleiche sie mit dem Schaltplan. Wenn du keinen Fehler findest, schließe die Schaltung an den Strom an, verbinde das schwarze Kabel deines Multimeters mit dem Minuspol und prüfe alle Verbindungen mit der roten Messspitze auf Spannung. Jeder Teil der Schaltung sollte wenigstens ein wenig Spannung führen, wenn alles funktioniert. Wenn du eine tote Verbindung findest, kann es sein, dass die Lötstelle nicht gelungen ist oder du sie ganz vergessen hast.

Wenn du fertig bist, was dann? Du kannst natürlich vom Hobby-Elektroniker zum Hobby-Handarbeiter werden und dann herausfinden, wie man daraus eine tragbares Schmuckstück machen kann.

Erst einmal musst du dir Gedanken um die Stromversorgung machen. Die von mir verwendeten Bauteile brauchen unbedingt 9 Volt, damit sie funktionieren. Wie schaffst du es, diese 9-Volt-Schaltung tragbar zu machen, wenn du eine dicke 9-Volt-Batterie brauchst?

Mir fallen da drei mögliche Antworten ein:

1. Du kannst die Batterie in eine Art Tasche stecken und den Blinker außen auf dieser Tasche befestigen, wobei ein dünner Draht durch den Stoff geführt wird. In die kleine Buchse auf der Platine passen Drähte mit einem Durchmesser von 0,5 bis 0,6 mm. Litzen (wie bei den Kabeln eines 9-Volt-Batterieclips) müssen mit einer dünnen Schicht Lötzinn bedeckt sein.
2. Du könntest die Batterie in einer Baseballcap befestigen und den Blinker außen aufsetzen.
3. Du kannst drei 3-Volt-Knopfzellen in Reihe schalten und mit einer Art Klemme aus Plastik zusammenhalten. Wenn du dich dafür entscheidest, ist es sicher keine gute Idee, Drähte direkt an die Batterien zu löten. Dabei würdest du die Flüssigkeit in der Batterie erhitzen, was dieser nicht gut bekommt. Und dir bekommt es sicher auch nicht gut, wenn die Flüssigkeit zu kochen beginnt und die Batterie platzt. Abgesehen davon haftet Lötzinn nicht besonders gut auf der Metalloberfläche der meisten Batterien.

Die meisten LEDs erzeugen einen scharf abgegrenzten Lichtstrahl, den du vielleicht zerstreuen willst, damit es besser aussieht. Eine Möglichkeit wäre, ein Stück transparentes Acrylglas zu benutzen, mindestens 6 mm dick, wie in Abbildung 3-67 gezeigt wird. Bearbeite die Vorderseite des Acryls mit Sandpapier, am besten mit einem Exzenterschleifer, der kein sichtbares Muster hinterlässt. Durch das Schleifen bleibt das Acrylglas lichtdurchlässig, ist aber nicht mehr transparent.

Bohre dann ein Loch in die Rückseite des Acrylglases, das ein wenig größer als die LED ist. Das Loch darf nicht ganz durchgebohrt werden. Entferne alle Bohrreste mit Druckluft aus dem Loch. Wenn du keinen Kompressor hast, wasche das Stück Kunststoff ab. Wenn die Vertiefung ganz getrocknet ist, gib einen Tropfen Fugensilikon oder Zweikomponenten-Epoxid-Kleber hinein. Stecke dann die LED ein und drücke sie so fest, dass der Klebstoff ganz herum fließt und die Verbindung dicht abschließt. Siehe Abbildung 3-67.

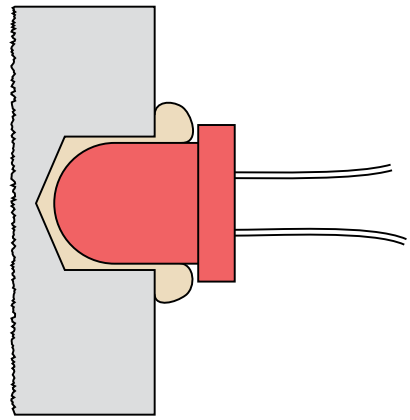


Abbildung 3-67. *Dieser Querschnitt zeigt eine transparente Acrylglasscheibe, in die von hinten ein Loch nicht ganz hindurch gebohrt wurde. Weil ein Bohrer am Ende des Lochs einen kegelförmiger Trichter hinterlässt, eine LED aber halbkugelförmig ist, kann man bei der Befestigung der LED transparenten Expoxid-Kleber oder Silikon in das Bohrloch einfüllen.*

Lass die LED leuchten und schleife das Acrylglas noch mehr ab, falls nötig. Am Ende kannst du entscheiden, ob du die Schaltung auf der Rückseite des Acryls anbringen willst oder sie über Drähte verbunden anderswo hinpackst.

Weil die LED in etwa mit der Geschwindigkeit des menschlichen Ruhepulses blinkt, sieht es vielleicht so aus, als würde die Schaltung deinen Puls messen, insbesondere dann, wenn du sie mitten auf deinem Brustkorb oder an einem Armband befestigst. Wenn du Leute gerne reinlegst, kannst du ja behaupten, dass deine Kondition so gut ist, dass dein Puls sogar dann im Ruhetakt bleibt, wenn du anstrengende Übungen machst.

Wenn es um ein gut aussehendes Gehäuse für die Schaltung geht, fallen mir verschiedene Möglichkeiten ein, vom Eingießen des ganzen Teils in klares Kunstharz bis zum Einbau in ein viktorianisches Medaillon ist alles denkbar. Ich überlasse es dir, Alternativen zu finden, weil es in diesem Buch um Elektronik geht und nicht um Handarbeit.

Ich werde aber noch auf eine letzte Frage zu sprechen kommen: Wie lange wird das Gerät weiter blinken?

Wenn du im kommenden Abschnitt »Essentials: Batterielaufzeiten« nachsiehst, erfährst du, dass eine normale Alkaline-9-Volt-Batterie die LED etwa 50 Stunden lang blinken lassen sollte.

ESSENTIALS

Batterielaufzeiten

Wenn du eine Schaltung fertiggestellt hast, die du mit einer Batterie betreiben willst, möchtest du auch wissen, wie lange eine Batterie dann hält. Das ist nicht schwer, weil die Hersteller bei ihren Batterien (und Akkus) die »Amperestunden« angeben, die sie liefern können. Folgendes musst du beachten:

- Die Abkürzung für Amperestunden ist Ah, manchmal wird auch AH verwendet. Milliamperestunden werden mit mAh abgekürzt.
- Die Leistung einer Batterie in Amperestunden entspricht der Stromstärke in Ampere mal der Dauer in Stunden, die die Batterie sie liefern kann.

Also kann 1 Amperestunde theoretisch bedeuten: 1 Ampere für 1 Stunde oder 0,1 Ampere für 10 Stunden oder 0,01 Ampere für 100 Stunden usw. In Wirklichkeit ist es nicht ganz so einfach, weil die Chemikalien in einer Batterie schneller ausgehen, wenn du einen starken Strom entnimmst, insbesondere, wenn die Batterie dabei heiß wird. Du musst innerhalb der Grenzen dessen bleiben, was bei der Größe der Batterie angebracht ist.

Wenn zum Beispiel eine kleine Batterie für 0,5 Amperestunden ausgelegt ist, kannst du nicht erwarten, daraus für 1 Minute 30 Ampere ziehen zu können. Du solltest aber problemlos 0,005 Ampere (d.h. 5 Milliampere) für 100 Stunden bekommen können. Vergiss aber nicht, dass die Spannung einer Batterie höher als darauf angegeben ist, wenn sie frisch ist, und dass sie darunter sinkt, wenn sie Strom liefert.

Laut Testwerten, denen ich vertraue (ich glaube, sie sind etwas näher an der Wahrheit als die Schätzungen von Batterieherstellern), sind das einige Kennwerte für Standardbatterien:

- Normaler Alkaline-9-Volt-Block: 0,3 Amperestunden bei 100 mA.
- Normale Alkaline-Mignonbatterie mit 1,5 Volt: 2,2 Amperestunden bei 100 mA.
- Nickel-Metallhydrid-Akku (wiederaufladbar): etwa die doppelte Lebensdauer einer gleich großen Alkaline-Batterie.
- Lithiumbatterie: vielleicht die dreifache Lebensdauer einer Alkaline-Batterie.

HINTERGRUNDWISSEN

Messen macht verrückt

In weiten Teilen dieses Buchs kommen Größenangaben in Zentimetern und Millimetern vor, manchmal werden allerdings auch Zollangaben verwendet. Diese Unstimmigkeit liegt nicht an mir, sondern spiegelt nur die Widersprüchlichkeit der Elektronik-Industrie wieder, wo man sowohl Zoll als auch Millimeter im täglichen Gebrauch findet, beide oft auf nur einem Datenblatt.

Die USA sind das einzige große Land, das noch das alte Einheitensystem benutzt, das ursprünglich aus England kommt. (Laut dem »World Factbook« der CIA gibt es dieses System nur in zwei weiteren Nischen: in Liberia und Myanmar.) Dennoch haben die USA im Bereich der Elektronik stark zum Fortschritt beigetragen, besonders bei der Entwicklung von Siliziumchips, deren Anschlüsse einen Abstand von 1/10 Zoll haben. Diese Standards sind daher fest verankert und es hat nicht den Anschein, dass sie bald verschwinden werden.

In den USA ist es noch komplizierter, da es zwei inkompatible Systeme gibt, um einen Anteil eines Zolls auszudrücken. Dort werden z.B. Bohrer in Vielfachen von 1/64 Zoll gemessen. Die Dicke von Metallen wird dagegen in Dezimalbrüchen wie 0,06 Zoll (ca. 1/16 Zoll) angegeben.

Das metrische System ist nicht unbedingt vernünftiger als das US-System. Als das metrische System im Jahre 1875 formal eingeführt wurde, war der Meter ursprünglich als 1/10.000.000 der Entfernung zwischen dem Nordpol und dem Äquator festgelegt, auf einer Strecke, die durch Paris führt; eine weltfremde, frankozentrische Idee. Seit dieser Zeit wurde der Meter in einer Reihe von Bemühungen, größere Genauigkeit für wissenschaftliche Anwendungen zu erlangen, drei Mal neu definiert.

Was den Nutzen eines Systems zur Basis 10 angeht: Ein Dezimalkomma zu verschieben ist natürlich einfacher als Berechnungen mit vierundsechzigstel Zoll, aber wir rechnen auch nur deshalb in Zehnern, weil wir von Natur aus diese Anzahl an Fingern haben. Ein System zur Basis 12 wäre wirklich praktischer, weil die Zahlen glatt durch zwei und drei teilbar wären.

Da wir aber an den seltsamen Folgen der Längenmessung nichts ändern können, habe ich die Tabellen in Abbildungen 3-83 und 3-84 gezeichnet, mit deren Hilfe du Längen ineinander umrechnen kannst. Wenn also z.B. eine Buchse nach einem Loch verlangt, das einen ganz krummen Durchmesser hat, weißt du jetzt, woran das liegt.

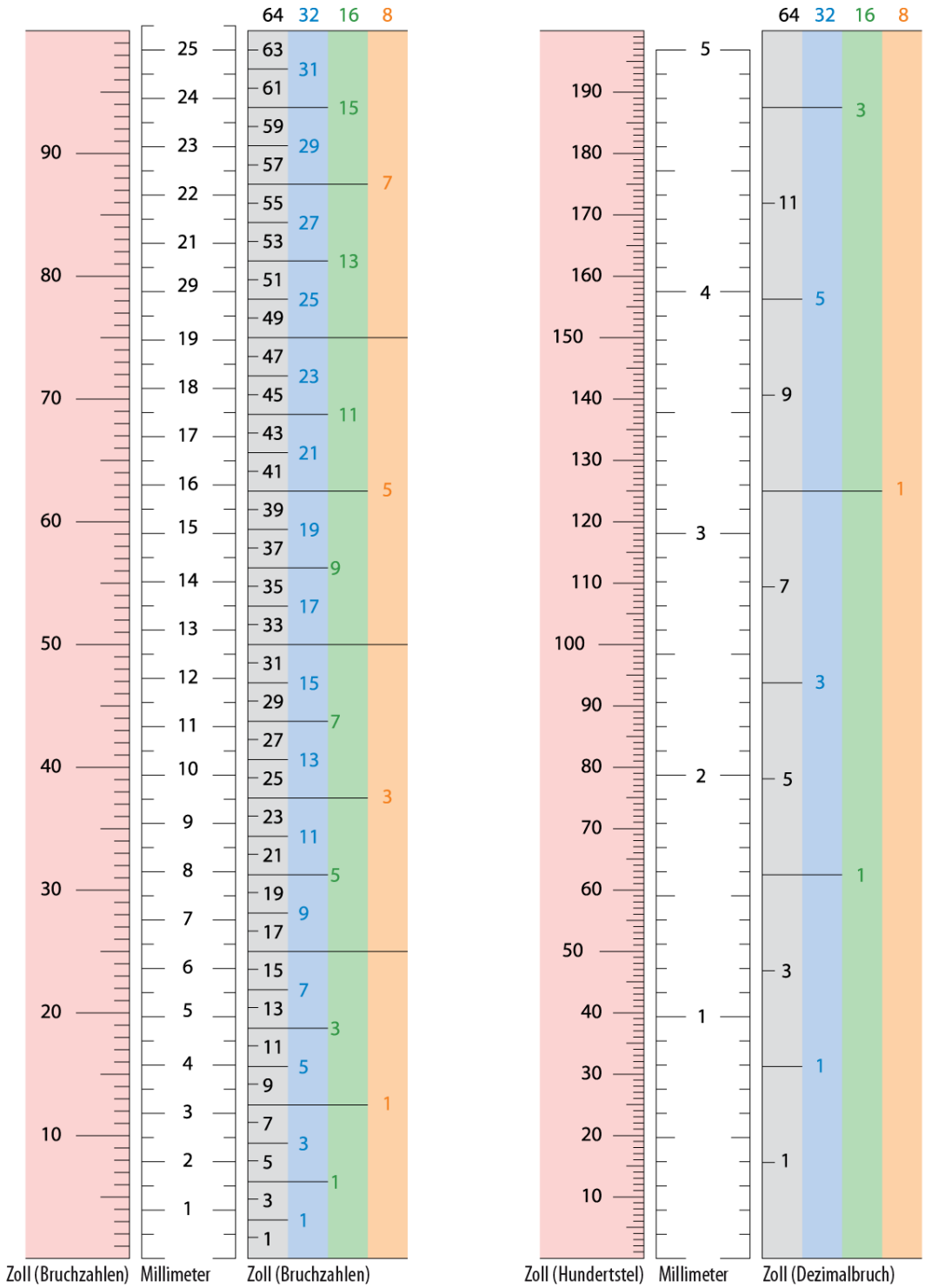


Abbildung 3-68. *Weil Maßeinheiten in der Elektronik nicht genormt sind, muss man manchmal Umrechnungen vornehmen. Die rechte Tabelle ist eine fünffache Vergrößerung des unteren Teils der linken Tabelle. (Beide sind nicht in Originalgröße abgebildet).*

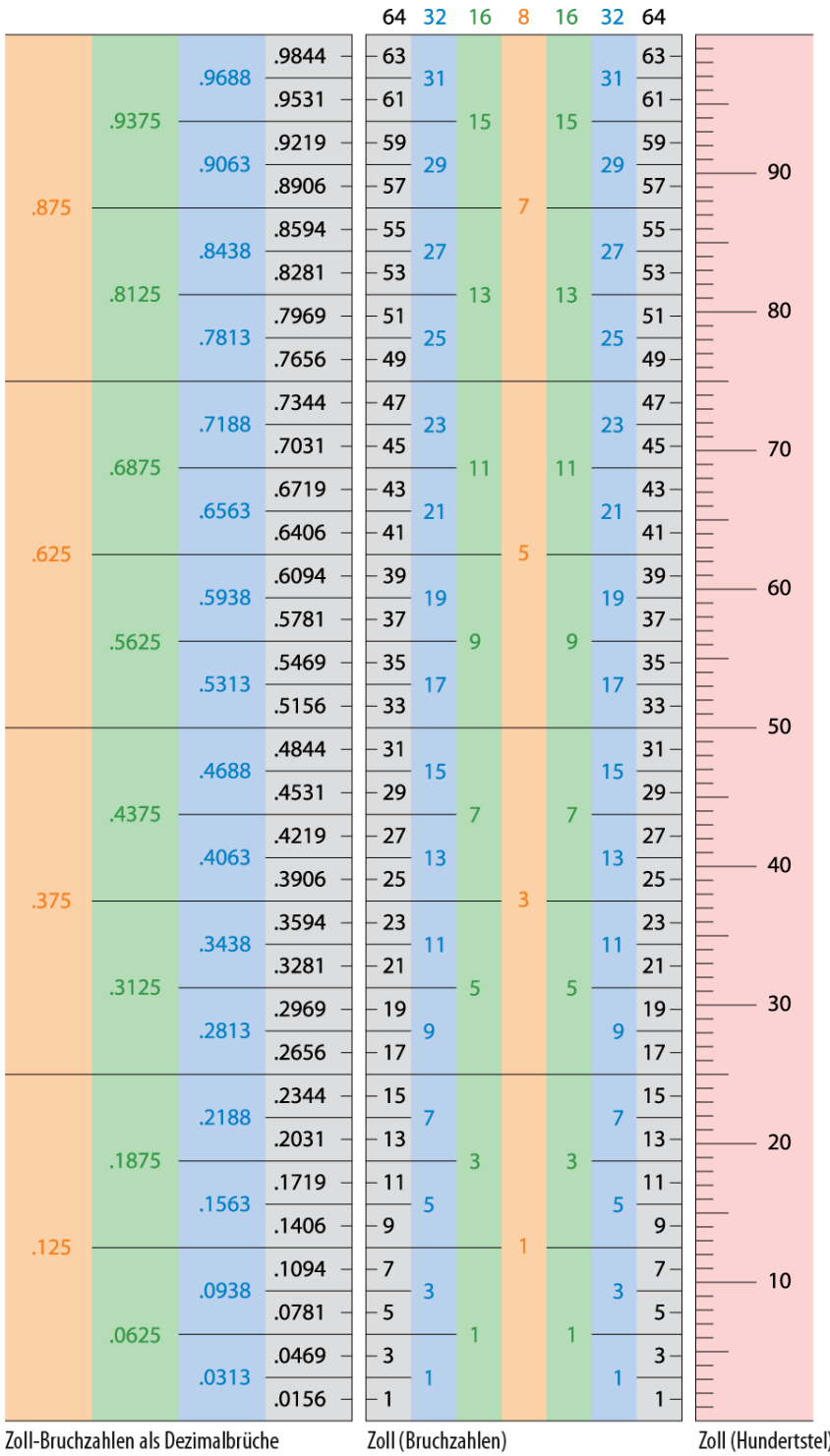


Abbildung 3-69. *Mit dieser Tabelle kann man Millimeter in Hundertstelzoll und in die in den USA gebräuchlichen Zollbrüche in Dezimal- und Bruchschreibweise umrechnen.*

Experiment 15: Zurück zur Alarmanlage

Jetzt ist es soweit, dass wir einige der Verbesserungen, die ich am Ende von Experiment 11 vorgeschlagen habe, in die Alarmanlage einbauen. Ich werde dir zeigen, wie der Alarm ausgelöst werden kann, wenn du unterschiedliche Sensoren an den Fenstern und Türen bei dir zuhause montierst. Ich werde auch darlegen, wie die Alarmanlage so verkabelt werden kann, dass sie eingeschaltet bleibt und weiter Krach macht, auch wenn eine Tür oder ein Fenster wieder geschlossen wird.

In diesem Experiment zeige ich, wie man ein Elektronikprojekt von einem Steckbrett auf eine Platine bekommt, deren Kupferbeschichtung genau so aufgebaut ist wie die Verbindungen im Inneren des Steckbretts, wie schon in Abbildung 3-57 gezeigt. Du wirst außerdem die fertige Schaltung in einem Gehäuse mit Schaltern und Buchsen montieren.

Wenn wir damit durch sind, hast du alles gelernt, um selbst Schaltungen aufzubauen. Die Erläuterungen im Rest des Buches werden immer knapper werden und wir werden das Tempo anziehen.

Das brauchst du:

- Feinlötkolben mit 15 Watt
- Dünnes Lötzinn (0,5 mm)
- Abisolierzange und Seitenschneider
- Streifenrasterplatine (Mit Kupferbeschichtung in Form des Steckbrett-Aufbaus)
- Kleiner Schraubstock oder Zwinge, um die Platine festzuhalten
- Dieselben Bauteile wie in Experiment 11, außerdem:
    - 2N2222-NPN-Transistor. Anzahl: 1.
    - Relais (2 Wechsler). Anzahl: 1.
    - Kippschalter, Ein/Ein, einpoliger Umschalter. Anzahl: 1.
    - 1N4001-Diode. Anzahl: 1.
    - Rote und grüne 5mm-LEDs. Anzahl: je 1.
    - Kunststoffgehäuse, ca. 15 x 8 x 5 cm.
    - Hohlstecker (5,5 x 2,1 mm) für Stromversorgung und passende Buchse
    - Polklemmen
    - Schaltlitze, 0,5 mm Durchmesser, in drei verschiedenen Farben.
    - Reedkontaktschalter, so viele, wie du für deine Wohnung brauchst.
    - Alarmanlagenverkablung, so viel, wie du für deine Wohnung brauchst.

Magnetkontaktschalter

Ein herkömmlicher Alarmgeber besteht aus zwei Modulen: Dem Magnetmodul und dem Schaltermodul, wie in Abbildung 3-70 und 3-71 zu sehen. Das Magnetmodul enthält nur einen Permanentmagneten. Das Schaltmodul enthält einen »Reed-Schalter«, der unter dem Einfluss eines Magnets eine Verbindung herstellt oder unterbricht (wie der Kontakt in einem Relais). Wenn du das Magnetmodul nahe an das Schaltmodul heranbringst, hörst du vielleicht ein leises Klicken, wenn der Reed-Schalter von einem Zustand zum anderen umschaltet.

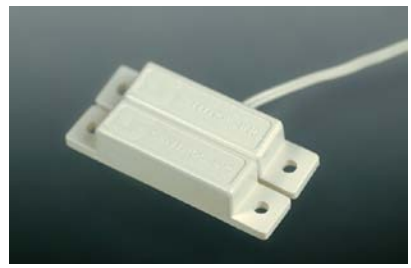


Abbildung 3-70. *Bei diesem einfachen Alarmschalter enthält das untere Modul einen Magneten, der einen Reedschalter im oberen Modul öffnet und schließt.*

Wie alle Schalter können auch Reed-Schalter im Ruhezustand geöffnet oder geschlossen sein. Für dieses Projekt brauchen wir einen Schalter, der normalerweise geöffnet ist und sich schließt, wenn das Magnetmodul in die Nähe kommt.

Das Magnetmodul wird am beweglichen Teil einer Tür oder eines Fensters befestigt, das Schaltmodul am Fenster- oder Türrahmen. Wenn das Fenster oder die Tür geschlossen wird, berührt das Magnetmodul das Schaltmodul fast. Der Magnet hält den Schalter geschlossen, bis die Tür oder das Fenster geöffnet wird. Erst dann öffnet der Schalter.

Es bleibt die Frage: Wie lösen wir mit diesem Bauteil unsere Alarmanlage aus? Solange ein schwacher Strom durch alle unsere Magnetschalter fließt, soll der Alarm ausgeschaltet sein, aber wenn der Stromfluss unterbrochen wird, soll die Anlage Alarm auslösen.

Wir könnten ein Relais benutzen, dass immer angezogen ist, wenn die Anlage scharf geschaltet ist. Wenn der Stromkreis unterbrochen wird, fällt das Relais in die Ruhestellung und schließt dabei den Ruhekontakt, der die Alarmsirene starten könnte.

Ich mag diese Idee aber nicht besonders. Relais verbrauchen eine Menge Strom und können heiß werden. Die meisten Relais eignen sich auch nicht dazu »immer an« zu sein. Ich will für diese Aufgabe lieber einen Transistor verwenden.

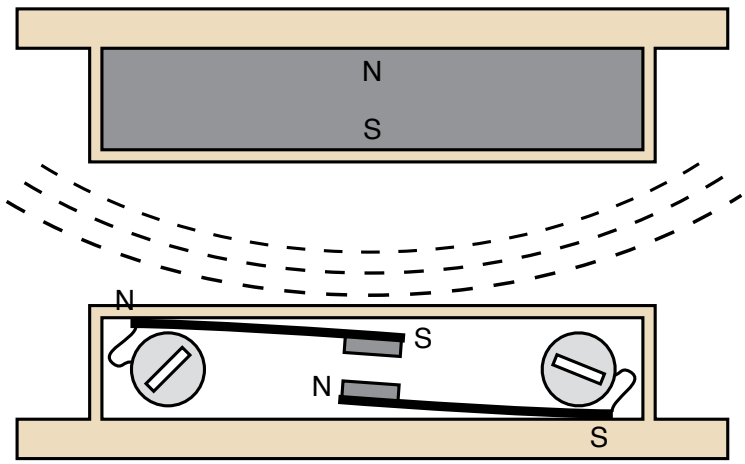


Abbildung 3-71. *Diese Querschnittszeichnung zeigt einen Reedschalter (unten) und den Magneten, der ihn aktiviert (oben). Der Schalter enthält zwei biegsame Magnetstreifen. Der obere liegt mit seinem Südpol an einem elektrischen Kontakt und der untere liegt mit seinem Nordpol an einem elektrischen Kontakt. Wenn der Südpol des Magnets sich dem Schalter nähert, stößt die Magnetkraft (als gestrichelte Linien dargestellt) den Südkontakt ab und zieht den Nordkontakt an. Dadurch berühren sich die beiden Kontakte. Zwei Schrauben an der Außenseite des Gehäuses sind mit den Streifen im Inneren verbunden.*

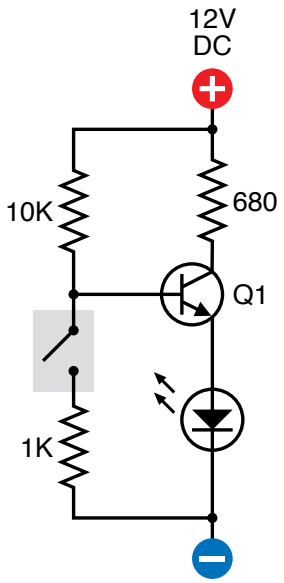


Abbildung 3-72. *In dieser Beispielschaltung unterbricht das Öffnen des Schalters die negative Spannung zur Basis des Transistors. Dadurch sinkt der Widerstand des Transistors und Strom kann zur LED hindurchfließen. Daher geht die LED an, wenn der Schalter ausgeschaltet wird.*

Diese Transistorschaltung öffnet, um zu schließen

Denke erst noch einmal darüber nach, wie ein NPN-Transistor funktioniert. Wenn die Basis nicht positiv genug ist, blockiert der Transistor den Stromfluss zwischen seinem Kollektor und seinem Emitter. Wenn die Basis aber positiv genug ist, leitet der Transistor den Strom durch.

Schau dir den Schaltplan in Abbildung 3-72 an, in dem unser alter Freund, der 2N2222-NPN-Transistor, in der Mitte sitzt. Wenn der Schalter geschlossen wird, verbindet er die Basis des Transistors über einen 1-kΩ-Widerstand mit der negativen Seite der Stromversorgung. Gleichzeitig ist die Basis über einen 10-kΩ-Widerstand mit der positiven Seite der Stromversorgung verbunden. Wegen des Unterschieds der Widerstände und der relativ hohen Einschaltspannung der LED liegt die Basis unter ihrem Einschaltgrenzwert. Das Ergebnis ist, dass der Transistor kaum Strom durchlässt. Die LED leuchtet, wenn überhaupt, nur sehr schwach.

Aber was passiert, wenn der Schalter geöffnet wird? Die Basis des Transistors verliert ihre negative Stromversorgung und ist nur noch mit der positiven Stromversorgung verbunden. Sie wird viel positiver, die Einschaltgrenze des Transistors wird überschritten, dadurch senkt der Transistor seinen Widerstand und leitet mehr Strom durch. Die LED leuchtet jetzt hell. Also schaltet die LED sich ein, wenn der Schalter ausgeschaltet wird, d.h. die Verbindung unterbrochen wird.

Das klingt nach dem, was wir gerne hätten. Stelle dir eine ganze Reihe von Schaltern anstelle von nur einem Schalter vor, wie in Abbildung 3-73 dargestellt. Die Schaltung funktioniert immer gleich gut, auch wenn die Schalter überall in deinem Haus verteilt sind, weil der Widerstand der Drähte, die die Schalter verbinden, im Vergleich mit dem 1-kΩ-Widerstand immer noch zu vernachlässigen ist.

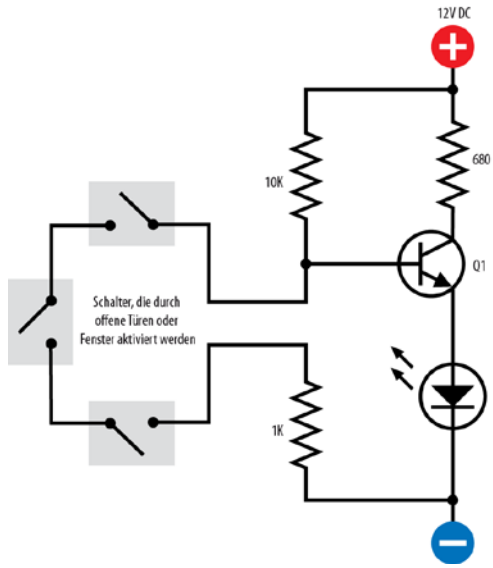


Abbildung 3-73. *Den einfachen Schalter aus Abbildung 3-72 kann man durch einen Verbund von Schaltern ersetzen, die in Reihe geschaltet werden. Jetzt unterbricht jeder der Schalter den Stromkreis und löst den Transistor aus.*

Ich habe die Schalter geöffnet gezeichnet, weil man das in Schaltplänen so macht, aber stelle dir vor, dass sie alle geschlossen sind. Die Basis des Transistors wird dann über den langen Draht versorgt, der alle geschlossenen Schalter verbindet, und die LED bleibt dunkel. Wenn jetzt nur einer der Schalter geöffnet wird oder jemand die Drähte manipuliert, die sie verbinden, verliert die Basis ihre Verbindung zum Minuspol. Dadurch leitet der Transistor den Strom und die LED leuchtet auf.

Wenn alle Schalter geschlossen bleiben, zieht die Schaltung sehr wenig Strom, etwa 1,1 mA. Man kann sie also auch mit einer normalen 12-Volt-Batterie für Alarmanlagen betreiben.

Jetzt können wir die LED wegnehmen und durch ein Relais ersetzen, wie in Abbildung 3-74 gezeigt. An dieser Stelle ist es kein Problem, ein Relais zu benutzen, weil das Relais nicht »immer an« sein wird. Es wird im Ruhezustand ausgeschaltet sein und nur Strom ziehen, wenn der Alarm ausgelöst wird.

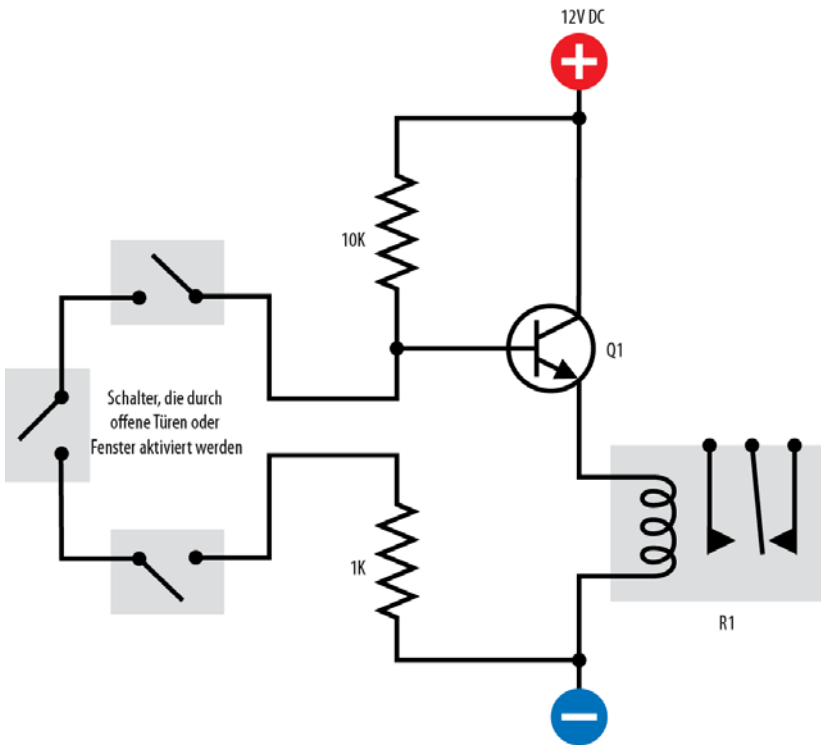


Abbildung 3-74. *Wenn die LED und der 680-Ω-Widerstand weggenommen werden und stattdessen ein Relais eingebaut wird, zieht das Relais an, sobald einer der Schalter im Verbund geöffnet wird.*

Versuch es mit einem der 12-Volt-Relais, die du schon benutzt hast. Du wirst bemerken, dass das Relais anzieht, wenn du den Schalter öffnest. Wenn du den Schalter schließt, fällt das Relais wieder zurück. Achte darauf, dass ich auch den 680-Ω-Widerstand aus der Schaltung genommen habe. Das Relais braucht keinen Schutz vor den 12 Volt des Netzteils.

Das selbsthaltende Relais

Es gibt nur noch ein Problem: Wir wollen, dass die Alarmanlage weiterheult, auch wenn jemand die Tür oder das Fenster, das er geöffnet hat, schnell wieder zumacht. Anders gesagt: Wenn das Relais einmal aktiviert wird, muss es eingeschaltet bleiben.

Dies könnte man mit einem selbsthaltenden (einrastenden) Relais umsetzen. Dabei gibt es nur das Problem, dass man eine weitere Schaltung braucht, um das eingerastete Relais wieder zu lösen. Ich zeige dir lieber, wie man jedes Relais so nutzen kann, dass es eingeschaltet bleibt, auch wenn es nur einen Stromstoß erhalten hat. Diese Idee wird auch später im Buch noch nützlich sein.

Das Geheimnis besteht darin, der Relaisspule den Strom durch die zwei Relaiskontakte zuzuführen, die in der Ruhestellung offen sind. (Im Gegensatz zur Schaltung des Relais-Oszillators: Bei dieser wurde die Spule durch die Kontakte versorgt, die im Ruhezustand geschlossen sind. Dieser Aufbau sorgte dafür, dass sich das Relais selbst ausgeschaltet hat, sobald es sich eingeschaltet hatte. Der Aufbau hier sorgt dagegen dafür, dass das Relais sich selbst im eingeschalteten Zustand hält, sobald es aktiviert wird.)

Die vier Schaltbilder in Abbildung 3-75 veranschaulichen dies. Du kannst sie dir wie die Einzelbilder eines Films vorstellen, die in Sekundenbruchteilen nacheinander aufgenommen wurden. Im ersten Bild ist der Schalter offen, das Relais ist nicht aktiviert und nichts passiert. Im zweiten Bild wurde der Schalter geschlossen, um die Spule einzuschalten. Im dritten Bild hat die Spule den Arbeitskontakt angezogen, so dass der Strom jetzt auf zwei Wegen zur Spule gelangt. Im vierten Bild wurde der Schalter wieder geöffnet, aber das Relais versorgt immer noch seine Spule durch seine eigenen Kontakte. Es bleibt in diesem Zustand, bis der Strom abgeschaltet wird.

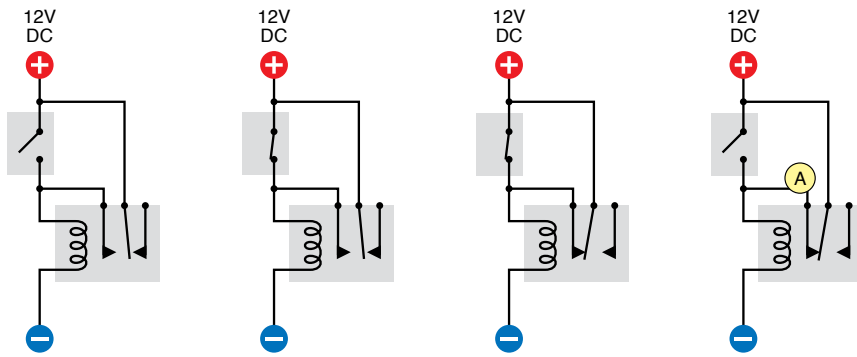


Abbildung 3-75. *Diese Reihe von Schaltbildern zeigt, was passiert, wenn ein Relais erregt wird. Zuerst ist der Schalter offen. Dann wird er geschlossen und aktiviert das Relais. Das Relais versorgt sich dann selbst durch seine eigenen Kontakte mit Strom. Das Relais bleibt angezogen, auch wenn der Schalter wieder geöffnet wird. Der vom Relais geschaltete Strom kann an Punkt A entnommen werden.*

Um diese Idee für uns zu nutzen, müssen wir nur den Transistor an die Stelle des Schalters setzen und die Schaltung vom Punkt A aus mit einem Draht mit der Sirenenschaltung verbinden.

Abbildung 3-76 zeigt, wie das funktionieren würde. Wenn der Transistor durch einen der Schalter im Verbund aktiviert wird, wie schon erläutert wurde, leitet der Transistor Strom an das Relais. Das Relais hält seinen Kontakt und der Transistor wird damit irrelevant.

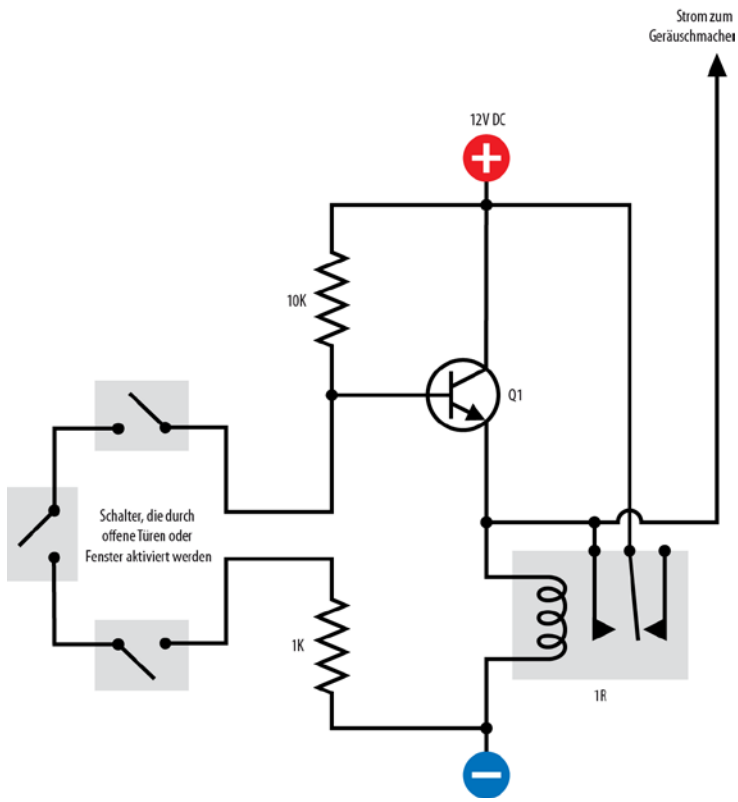


Abbildung 3-76. *Das abgebildete selbsthaltende Relais ist in die Alarmschaltung eingebaut. Wenn irgendeiner der Schalter im Verbund geöffnet wird, versorgt das Relais den Alarm weiter mit Strom, auch wenn der Schalter wieder geschlossen wird.*

Weil damit weitere Bauteile zur ursprünglichen Alarmsignalschaltung hinzugefügt wurden, habe ich auch das Blockschaltbild aus Abbildung 2-112 auf den neusten Stand gebracht. Du siehst, dass wir das Projekt immer noch in Module mit einfachen Funktionen zerlegen können. Das überarbeitete Diagramm ist in Abbildung 3-77 zu sehen.

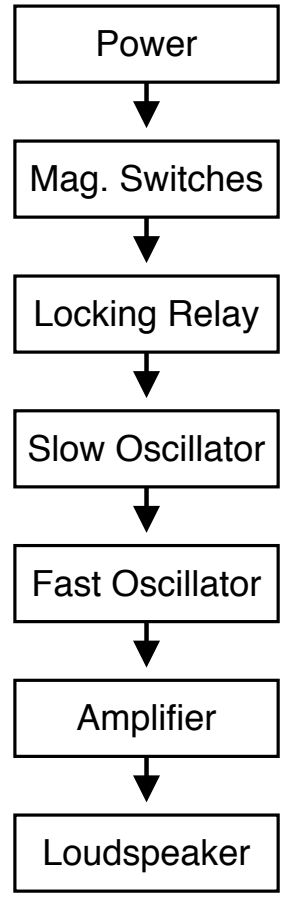


Abbildung 3-77. *Dieses Blockschaltbild, das schon in Abbildung 2-112 auf Seite 90 vorkam, wurde hier um den Magnetschalterverbund und das Halterelais erweitert.*

Böse Spannungen blockieren

Es bleibt ein kleines Problem: Wenn in der neuen Version der Schaltung der Transistor abgeschaltet wird, während das Relais noch angezogen ist, kann der Strom vom Relais durch den Draht zurück zum Emitter fließen. Dort wird er versuchen, rückwärts durch den Transistor zur Basis zu fließen, die »negativer« ist, weil sie durch alle Magnetschalter und den 1-kΩ-Widerstand mit dem Minuspol des Netzteils verbunden ist.

Es ist keine gute Idee, einen Transistor falsch herum unter Strom zu setzen. Daher enthält der letzte Schaltplan in dieser Serie ein weiteres Bauteil, das du vorher noch nicht gesehen hast: Eine Diode, bezeichnet mit D1. Siehe Abbildung 3-78. Die Diode ist wie das Innere des LED-Schaltzeichens dargestellt, und das entspricht genau der Realität, auch wenn einige Dioden viel robuster sind. Eine Diode erlaubt den Stromfluss nur in eine Richtung, von positiv zu negativ, wie der Pfeil im Symbol anzeigt. Wenn der Strom versucht, in die Gegenrichtung zu fließen, blockiert die Diode ihn. Den Preis, den man für diesen Dienst zahlen muss, ist ein kleiner Spannungsverlust beim Strom, der aber in der erlaubten Richtung fließt.

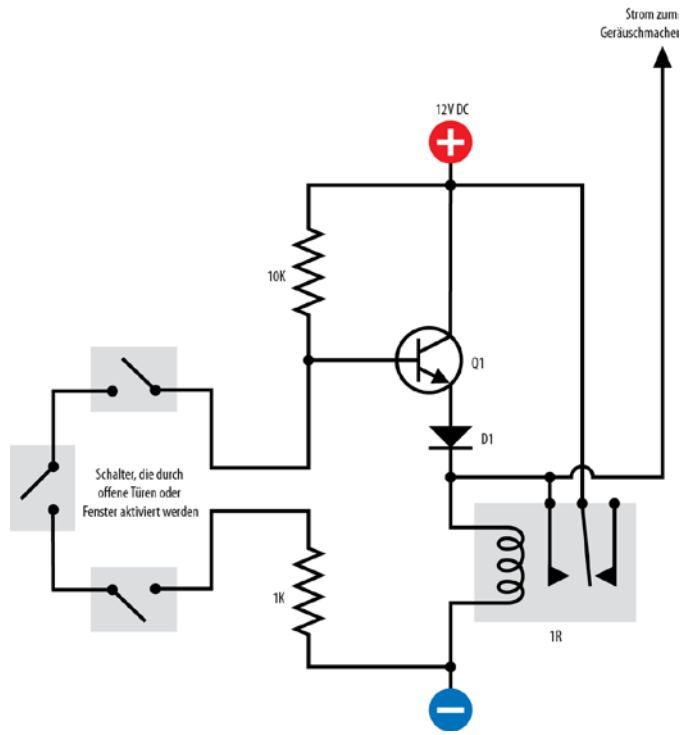


Abbildung 3-78. *Die Diode D1 wurde hinzugefügt, um den Emitter von Q1 vor positiver Spannung zu schützen, wenn das Relais erregt ist.*

Jetzt kann also ein positiver Stromfluss vom Transistor durch die Diode zur Relaisspule fließen, und dann alles Weitere auszulösen. Das Relais versorgt sich nun selbst mit Strom, aber die Diode verhindert, dass die positive Spannung falsch herum zurück in den Transistor fließt.

Eine elegantere Lösung für das Problem könnte darin bestehen, den Ruhekontakt des Relais über einen 10-kΩ-Widerstand mit der Basis zu verbinden. Wenn das Relais ruht, ist der Ruhekontakt stromfrei und verhält sich nur wie eine Parasitärkapazität in diesem Strang. Wenn das Relais erregt wird, zweigt der Ruhekontakt 12 Volt durch den mittleren Relaisanschluss über einen 10-kΩ-Widerstand in die Basis ab. Bei diesem Aufbau wird der Transistor niemals einer möglicherweise schädlichen Spannung ausgesetzt und man macht sich nicht vom Leckstrom nicht-idealer Bauteile abhängig, um andere Bauteile zu schützen.

Abgesehen davon brauchte ich eine Gelegenheit, dir die Funktion einer Diode zu erklären. Du kannst im folgenden Abschnitt »Essentials: Alles über Dioden« mehr zu diesem Thema erfahren.

ESSENTIALS

Alles über Dioden

Eine Diode ist eine sehr frühe Form des Halbleiters. Sie erlaubt dem Strom, in eine Richtung hindurchzufließen, blockiert ihn aber in Gegenrichtung. (Eine Lumineszenzdiode ist eine sehr viel jüngere Erfindung.) Genau wie eine LED kann auch eine Diode beschädigt werden, wenn man die Spannung falsch herum anlegt und sie einem zu starken Strom aussetzt. Die meisten Dioden haben aber diesbezüglich eine höhere Toleranz als LEDs. Die Seite der Diode, die die positive Spannung blockiert, ist immer gekennzeichnet, normalerweise mit einer Markierung ringsherum. Das andere Ende ist nicht markiert. Dioden sind in Logikschaltungen besonders nützlich, können aber auch Wechselstrom in Gleichstrom umwandeln.

Eine Zenerdiode ist eine spezielle Diode, die wir in diesem Buch nicht benutzen werden. Sie blockiert in einer Richtung vollständig, aber auch in die andere Richtung, bis dort eine Grenzspannung erreicht wird, so ähnlich wie beim PUT.

Signaldioden sind für verschiedene Spannungen und Leistungen erhältlich. Die 1N4001-Diode, die ich für die Alarmschaltung empfehle, ist noch viel belastbarer und hält eine höhere Spannung aus, ich aber benutze sie wegen ihres niedrigen Innenwiderstands. Ich wollte, dass die Diode möglichst wenig Spannungsabfall erzeugt, damit das Relais so viel Spannung wie möglich erhält.

Man sollte Dioden unter ihrer angegebenen Leistungsfähigkeit betreiben. Sie können wie andere Halbleiter überhitzt werden und durchbrennen, wenn sie falsch behandelt werden.

Das Schaltzeichen für eine Diode hat nur eine wichtige Variante: Manchmal wird das Dreieck nicht ausgefüllt, sondern nur als Umriss gezeichnet (siehe Abbildung 3-79).

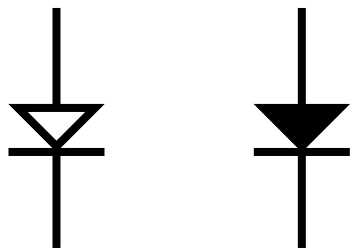


Abbildung 3-79. *Beide Schaltzeichen können benutzt werden, um eine Diode darzustellen, aber das rechte Symbol wird häufiger als das linke benutzt.*

Fertigstellung der Alarmschaltung auf dem Steckbrett

Wir werden jetzt die Steuerschaltung für die Alarmsirene auf das Steckbrett bauen. Abbildung 3-80 zeigt, wie das umgesetzt werden kann. Ich gehe davon aus, dass du die Krachmacher-Schaltung noch hast und sie unverändert funktioniert. Ich setze voraus, dass du die nötigen Bauteile in der oberen Hälfte des Steckbretts aufgebaut hast. Um Platz zu sparen, bilde ich nur die zusätzlichen Bauteile ab, die in die untere Hälfte dieses Steckbretts kommen.

Es ist wichtig, dass du darauf achtest, keinen Strom mehr direkt an die Schienen links und rechts auf dem Steckbrett anzuschließen. Du führst den Strom jetzt dem unteren Abschnitt mit dem Relais und dem Transistor zu. Wenn das Relais seine Kontakte schließt, versorgt es die Schienen mit Strom. Diese führen den Strom dann zur oberen Hälfte des Steckbretts. Ziehe also dein Netzteil von den seitlichen Schienen des Steckbretts ab und schließe sie so an, wie es in Abbildung 3-80 dargestellt ist.

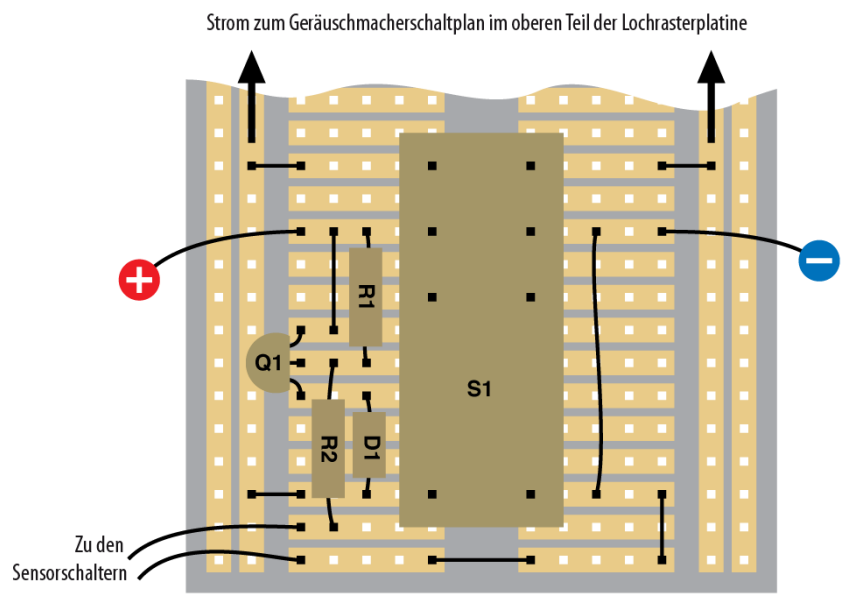


Abbildung 3-80. *Die Schaltung, die auf den vergangenen Seiten entwickelt wurde, kann mit den Bauteilen auf einem Steckbrett nachgebaut werden. S1 ist ein zweipoliges Umschaltrelais. Die Drähte zum Sensorschalterverbund und zum Netzteil müssen wie gezeigt angeschlossen werden.*

Weil das Relais zweipolig ist, schalte ich damit sowohl den Minus- als auch den Pluspol. Das bedeutet, dass der Teil mit dem Signalgeber vom Rest der Schaltung komplett isoliert ist, solange das Relais geöffnet ist.

Die Relaisschaltung auf dem Steckbrett ist identisch mit dem Schaltplan in Abbildung 3-78. Die Bauteile sind nur anders angeordnet und so zusammengeschoben, dass sie neben das Relais passen. Zwei Drähte in der Ecke unten links führen zu dem Verbund von Magnetschaltern, die den Alarm auslösen. Für Testzwecke kannst du einfach die blanken Enden von zwei Drähten zusammenhalten, um geschlossene Schalter zu simulieren, und sie voneinander lösen, um einen geöffneten Schalter zu simulieren.

Zwei weitere Drähte versorgen die Schaltung auf beiden Seiten des Relais mit Strom. Dort solltest du beim Testen dein Netzteil anschließen. Der Ausgang des Relais (über dessen oberes Kontaktpaar) wird mit den seitlichen Schienen des Steckbretts über kleinen Drahtbrücken oben links und oben rechts verbunden. Vergiss diese Drähte nicht! Ein weiterer kurzer Draht, den man unten links leicht übersieht, verbindet die linke Seitenschiene mit dem linken Spulenanschluss des Relais, damit es, wenn es die Sirene einschaltet, sich gleichzeitig selbst mit Strom versorgt.

Wenn du die Diode einsetzt, dann beachte, dass die Seite, die mit einem Ring markiert ist, das Ende ist, das positive Spannung blockiert. In dieser Schaltung ist dies das untere Ende der Diode.

Probiere aus, ob alles funktioniert. Halte die Sensordrähte zusammen und schalte den Strom ein. Die Sirene sollte still bleiben. Du kannst mit deinem Multimeter testen, ob keine Spannung zwischen den Seitenschienen anliegt. Wenn du jetzt die Sensordrähte voneinander trennst, sollte das Relais klicken und Strom auf die Seitenschienen geben, wodurch die Sirene aktiviert werden sollte. Auch wenn du die Drähte wieder verbindest, sollte das Relais eingerastet bleiben. Du kannst es nur lösen, indem du die Stromversorgung unterbrichst.

Wenn die Schaltung aktiv ist, senkt der Transistor zusammen mit der Diode die Spannung leicht, aber das 12-Volt-Relais sollte immer noch funktionieren.

In meiner Testschaltung mit drei verschiedenen Relais zogen diese zwischen 27 und 40 Milliampere bei 9,6 Volt. Es gab auch einen niedrigen Leckstrom durch den gesperrten Transistor, aber das waren nur ein paar Milliampere bei 0,5 Volt. Diese geringe Spannung lag aber weit unter der Anzugsspannung des Relais.

Bereit für die Platine

Wenn die Schaltung funktioniert, besteht der nächste Schritt darin, sie auf einer Platine zu verewigen. Nimm eine Lochrasterplatine, bei der die Anordnung der Kupferverbindungen den Kontakten in einem Steckbrett entspricht, wie in Abbildung 3-57 auf Seite 113 zu sehen. Lies dir den folgenden Abschnitt »Essentials: Löten auf der Lochrasterplatine« durch, um zu lernen, wie man hier lötet, sowie den nachfolgenden Abschnitt über die häufigsten Fehler.

ESSENTIALS

Löten auf der Lochrasterplatine

Achte genau auf die Position eines Bauteils auf deinem Steckbrett, bewege es dann an dieselbe relative Stelle auf der Platine und stecke die Beinchen durch die Löcher.

Drehe die Platine um, achte darauf, dass sie nicht wackelt und sieh dir das Loch an, durch das der Draht gesteckt ist, wie in Abbildung 3-81 dargestellt. Ein Kupferbahn umgibt dieses Loch und verbindet es mit anderen Löchern. Deine Aufgabe ist es, das Lötzinn zu schmelzen, so dass es am Kupfer und am Draht haften bleibt und eine eine feste, sichere Verbindung zwischen beiden herstellt.

Nimm deinen Feinlötkolben in eine Hand und das Lötzinn in die andere. Halte die Spitze des Lötkolbens an den Draht und das Kupfer und führe ein wenig dünnes Lötzinn an die Stelle, an der sie sich berühren. Nach zwei bis vier Sekunden sollte das Lötzinn zu fließen beginnen.

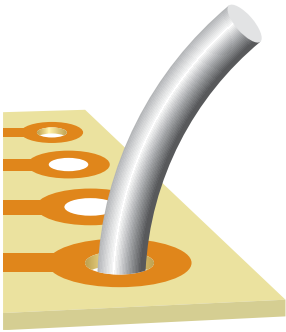


Abbildung 3-81

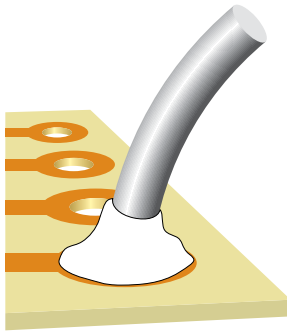


Abbildung 3-82

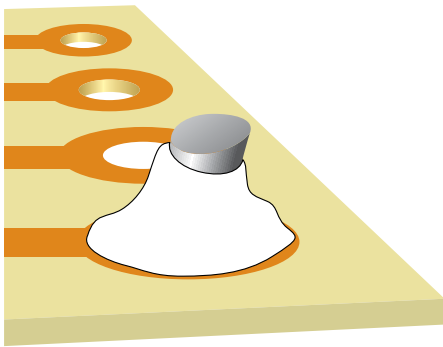


Abbildung 3-83. *Um eine Verbindung zwischen einem Draht und der Kupferbahn auf einer Platine herzustellen, wird der Draht durch das Loch gesteckt und mit Lötzinn (hier in Weiß dargestellt) verbunden. Danach kann der Draht abgeknipst werden.*

Füge soviel Lötzinn hinzu, bis ein runder Höcker entsteht, der den Draht und das Kupfer umschließt, wie in Abbildung 3-82 dargestellt. Warte, bis das Lötzinn ganz fest geworden ist, fasse den Draht mit einer Flachzange und wackele daran herum, um sicherzugehen, dass die Verbindung hält. Wenn alles stimmt, knipse den hervorstehenden Draht mit deinem Seitenschneider ab. Siehe Abbildung 3-83.

Weil es nicht so einfach ist, Lötstellen zu fotografieren, benutze ich hier eine Zeichnung, um den Draht vor und nach der Erstellung einer guten Lötstelle zu zeigen, die in weiß mit schwarzem Umriss dargestellt ist.

In den Abbildung 3-84 und 3-85 kann man sehen, wie dies auf Fotos von echten Platinen aussieht.

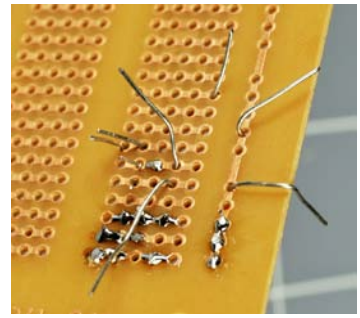


Abbildung 3-84. *Dieses Foto wurde aufgenommen, während die Bauteile vom Steckbrett auf die Platine übertragen wurden. Es werden immer zwei oder drei Bauteile auf einmal von der anderen Seite in die Platine gesteckt und ihre Beinchen umgebogen, damit sie nicht herausfallen.*

Abbildung 3-85. *Nach dem Löten werden die Drähte gekürzt und die Lötstellen unter die Lupe genommen. Danach kommen die nächsten zwei oder drei Bauteile an die Reihe und immer so weiter.*

HANDWERKSZEUG

Die vier häufigsten Fehler bei der Arbeit mit Platinen

1. Zu viel Lötzinn

Einmal nicht aufgepasst und schon läuft das Lötzinn über die Platine, berührt die nächste Kupferbahn und bleibt daran haften, wie man in Abbildung 3-86 sieht. Wenn das passiert, musst du es erkalten lassen und dann mit einem Cuttermesser wegschneiden. Du kannst auch versuchen, es mit einer Entlötsaugpumpe oder Entlötlitze zu entfernen, aber ein Rest bleibt fast immer zurück.

Auch ein mikroskopisch kleiner Rest Lötzinn kann einen Kurzschluss verursachen. Überprüfe die Verbindung unter einer Lupe. Drehe dabei die Platine so, dass das Licht aus verschiedenen Winkeln auftrifft.

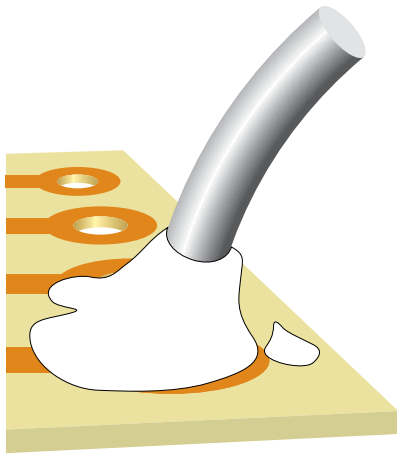


Abbildung 3-86. *Wenn man zu viel Lötzinn benutzt, gibt es eine Sauerei und es kann eine ungewollte Verbindung mit einem anderen Leiter entstehen.*

2. Zu wenig Lötzinn

Wenn die Lötstelle zu dünn ist, kann der Draht vom Lötzinn abbrechen, während es abkühlt. Sogar ein mikroskopischer Riss kann dazu führen, dass die Schaltung nicht funktioniert. In extremen Fällen bleibt das Lötzinn am Draht und am herumführenden Kupferring haften, stellt aber keine feste Verbindung zwischen beiden her, so dass der Draht von Lötzinn ummantelt ist, aber keine Verbindung entsteht, wie in Abbildung 3-87 zu sehen. Es kann sein, dass du dies nur unter der Lupe erkennen kannst.

Du kannst solchen Lötstellen jederzeit mehr Lötzinn hinzufügen, musst aber dazu die betreffende Stelle gründlich erhitzen.

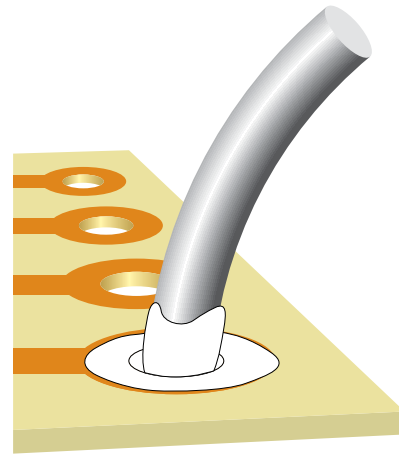


Abbildung 3-87. *Bei zu wenig Lötzinn (oder zu wenig Hitze) kann es passieren, dass ein verlöteter Draht von dem verlöteten Kupfer auf der Platine getrennt bleibt. Auch ein hauchdünner Spalt reicht aus, um eine elektrische Verbindung zu verhindern.*

3. Falsch platzierte Bauteile

Es ist schnell geschehen, dass ein Bauteil genau neben das richtige Loch gesteckt oder eine Verbindung ganz vergessen wird.

Ich schlage vor, dass du eine Kopie des Schaltplans ausdruckst und jedes mal, wenn du eine Verbindung auf der Platine herstellst, diese Verbindung auf deinem Ausdruck mit einem Marker durchstreichst.

4. Drahtreste

Wenn du Drähte abknipst, verschwinden die kurzen Drahtstücke nicht einfach. Sie sammeln sich auf deiner Arbeitsfläche an und eines von ihnen kann leicht unter deiner Platine hängenbleiben und eine Verbindung an einer Stelle herstellen, wo du sie nicht gebrauchen kannst.

Das ist noch ein guter Grund, um weiches Material, z.B. PU-Schaumstoff, als Arbeitsunterlage zu benutzen. Kleine Reste bleiben darin hängen, womit die Gefahr sinkt, dass diese ungewollte Kontakte herstellen.

Säubere die Unterseite deiner Platine mit einer alten (trockenen) Zahnbürste, bevor du Strom anlegst, und halte deine Arbeitsfläche möglichst sauber. Vergiss nicht, jede Lötstelle mit der Lupe zu überprüfen.

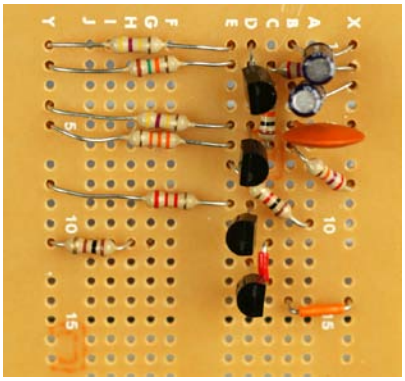


Abbildung 3-88. *Die Alarmsignal-Schaltung ist ohne Änderungen oder Erweiterungen vom Steckbrett auf die Lochrasterplatine umgezogen.*

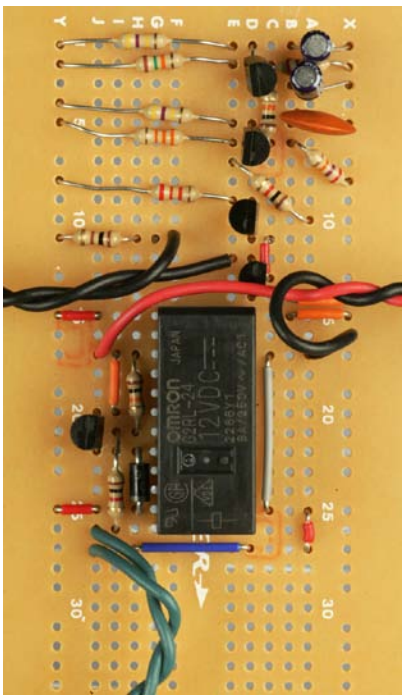


Abbildung 3-89. *Die Steuerschaltung mit Relais und Transistor wurde hinzugefügt. Die Drähte, die zu externen Bauteilen führen, wurden abisoliert, in die Platine gesteckt und festgelötet. Die grünen Drähte führen zum Sensorverbund, die schwarzen Drähte zum Lautsprecher und das rot-schwarze Drahtpaar dient der Stromversorgung.*

Die Bauteile vom Steckbrett auf die Platine zu übertragen, ist nicht besonders schwierig, solange du nicht zu viele Teile auf einmal bewegst. Folge den Vorschlägen im vorherigen Abschnitt: »Essentials: Löten auf der Lochrasterplatine« und lege oft genug eine Pause ein, um deine Verbindungen zu überprüfen. Ungeduld ist fast immer die Ursache von Fehlern bei dieser Arbeit.

Abbildung 3-88 zeigt den Alarmsignal-Teil der Schaltung auf der Streifenrasterplatine. Die Bauteile sind so angeordnet, dass sie möglichst wenig Platz verschwenden. Abbildung 3-89 zeigt die Platine, jetzt mit dem Relais und den zugehörigen Bauteilen. Die zwei schwarzen Drähte führen zum Lautsprecher, das rot/schwarze Adernpaar dient der Stromversorgung und die grünen Drähte führen zu den Magnetsensorschaltern. Jeder Draht führt durch die Platine hindurch und ist mit seinem blanken Ende mit dem Kupfer auf der Rückseite verlötet.

Teste die fertige Schaltung jetzt genau so, wie du sie auf dem Steckbrett getestet hast. Wenn sie nicht funktioniert, lies den folgenden Abschnitt: »Essentials: Fehlersuche in der Praxis« Wenn sie funktioniert, kannst du die Platine zurechtschneiden und in ein Gehäuse einbauen.

ESSENTIALS

Fehlersuche in der Praxis

Es folgt eine praktische Beschreibung, wie man Fehler aufspürt.

Nachdem ich die Schaltung mit Alarmsirene und Relais auf die Platine gelötet hatte, habe ich mein Werk überprüft und an den Strom angeschlossen: Obwohl das Relais klickte, kam kein Ton aus dem Lautsprecher. Auf dem Steckbrett hatte natürlich alles noch einwandfrei funktioniert.

Zuerst habe ich mir die Platzierung der Bauteile angesehen, weil diese sich am einfachsten überprüfen lässt. Ich habe keinen Fehler gefunden. Danach habe ich die Platine leicht gebogen, während sie eingeschaltet war: Der Lautsprecher machte kurz »Piep«. Immer wenn das passiert, kann man sich ziemlich sicher sein, dass eine Lötstelle einen winzigen Riss hat.

Der nächste Schritt war dann der, das schwarze Kabel meines Multimeters mit dem Minuspol des Netzteils zu verbinden, den Strom einzuschalten und Punkt für Punkt, von oben nach unten die Schaltung durchzugehen und an jedem Punkt mit der roten Messleitung die Spannung zu messen. In so einer einfachen Schaltung wie hier sollte an jeder Stelle irgendeine Spannung vorliegen.

Als ich beim zweiten 2N2222-Transistor, der den Lautsprecher versorgt, ankam, war dessen Ausgang komplett spannungsfrei. Entweder hatte ich den Transistor beim Löten durchgebrannt (unwahrscheinlich) oder es gab eine schlechte Lötstelle. Ich untersuchte die Platine unter dem Transistor mit einer Lupe und entdeckte, dass das Lötzinn um ein Beinchen des Transistors herumgeflossen war, ohne daran hängen zu bleiben. Der Spalt war sicher nur einen Hundertstelmillimeter breit, aber das reichte schon aus. Das Problem wurde wohl von Dreck oder Fett verursacht.

Diese langwierige Prozedur musst du abarbeiten, wenn eine Schaltung nicht funktioniert. Überprüfe, ob die Bauteile an der richtigen Stelle sind, überprüfe dein Netzteil, vergewissere dich, dass die Platine Strom hat, und messe die Spannung an jeder Stelle. Wenn du hartnäckig bleibst, findest du den Fehler.

Schalter und Eingänge für die Alarmanlage

Jetzt geht es darum, dass das System einfach zu benutzen sein soll. Das Blockdiagramm in Abbildung 3-90 beinhaltet einen zusätzlichen Kasten oben im Ablauf: Benutzersteuerung. Diese besteht aus Schaltern, LEDs und Verbindungen zur Außenwelt. Damit wir diese Aufgabe einschätzen können, muss ich erst einmal zusammenfassen, wie unser im Aufbau befindliches Alarmsystem bisher funktioniert.

Eine vollständige Heim-Alarmanlage hat normalerweise zwei Zustände: Zuhause und außer Haus.

- Im Zuhause-Modus kannst du die Anlage einschalten, während du zuhause bist, so dass der Alarm ausgelöst wird, wenn ein Einbrecher eine Tür oder ein Fenster öffnet.
- Beim Außer-Haus-Modus musst du normalerweise eine Codenummer eingeben. Danach hast du 30 Sekunden Zeit, das Haus zu verlassen und die Tür hinter dir zu schließen. Wenn du zurückkommst, löst du den Alarm durch das Öffnen der Tür aus, hast dann aber 30 Sekunden Zeit, zum Bedienfeld der Anlage zu gehen und deinen Code einzugeben, damit der Alarm gestoppt wird.

Bisher hat die Alarmanlage, die du gebaut hast, nur einen Zuhause-Modus. Den finden viele Leute aber schon sinnvoll und beruhigend. Ich werde weiter hinten im Buch noch Vorschläge machen, wie du die Anlage verändern und einen Außer-Haus-Modus einbauen kannst. Der Zuhause-Modus reicht aber zum jetzigen Zeitpunkt schon als Herausforderung.

Überlege dir, wie die Anlage im Alltag benutzt werden sollte. Sie sollte natürlich einen Ein-/Ausschalter haben. Wenn sie eingeschaltet ist, sollte jeder der Magnetschalter den Alarm auslösen. Aber was ist, wenn du sie einschaltest, ohne daran zu denken, dass du noch ein Fenster offen gelassen hast? In dieser Situation wäre es unpassend, wenn der Alarm erklingen würde. Du brauchst daher eine Funktion, die den Schaltkreis testet, damit du sehen kannst, ob alle Türen und Fenster geschlossen sind. Danach kannst du die Anlage einschalten.

Ich glaube, dass man den Alarmschaltkreis am besten mit einem Taster überprüft. Wenn du darauf drückst, sollte eine grüne LED aufleuchten, um anzuzeigen, dass der Schaltkreis geschlossen ist. Wenn du die grüne Anzeige siehst, kannst du den Taster loslassen und den Einschalter umlegen, der eine rote LED aufleuchten lässt, die dir anzeigt, dass die Alarmanlage jetzt scharf geschaltet ist.

Es gäbe noch eine weitere nützliche Funktion: Ein Alarmsignaltest, damit du dir sicher sein kannst, dass das System auch das Signal auslösen kann, wenn es darauf ankommt.

Die Schaltung in Abbildung 3-91 beinhaltet alle diese Funktionen. S1 ist ein einpoliger Umschalter; S2 ist ein zweipoliger Taster mit Ein-(Ein)-Funktion. Im Schaltplan ist er in der Ruhestellung abgebildet, in der er sich befindet, wenn der Taster nicht gedrückt wird.

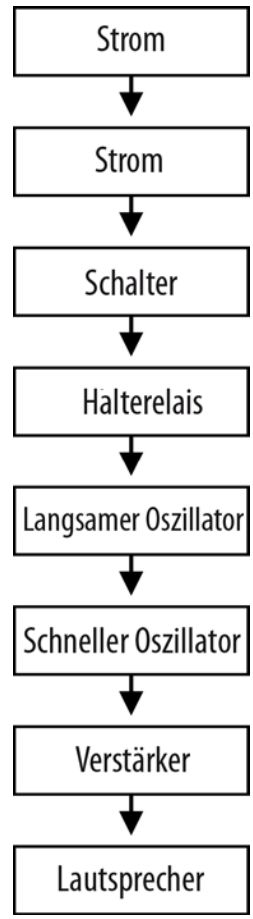


Abbildung 3-90. *Das abschließende Blockschaltbild für diese Phase des Projekts zeigt, wo die Benutzersteuerung in der Reihe der Funktionen liegt.*

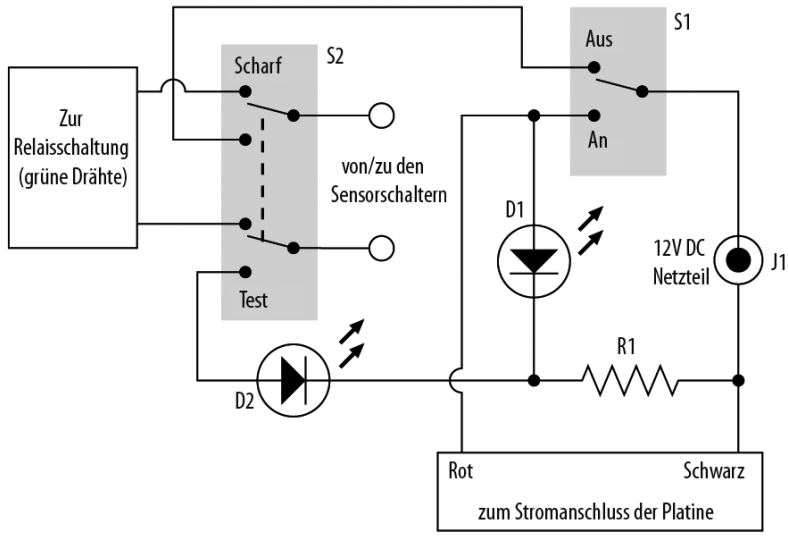


Abbildung 3-31. *Dieser Schaltplan zeigt eine sinnvolle Möglichkeit, die Anlage um einen Ein-/Ausschalter, eine Durchgangsprüfung und eine Alarmsignalprüfung zu erweitern.*

D1 ist eine rote LED, D2 ist eine grüne LED, J1 ist eine Buchse für die Stromversorgung (an die ein externes 12-Volt-Netzteil angeschlossen wird) und R1 ist ein Widerstand mit 680 Ω, der die LEDs schützt. Achte darauf, dass bei J1 der Pluspol am Stiftkontakt in der Mitte und der Minuspol an der Außenseite angelegt wird, so wie es normalerweise gemacht wird.

Wenn S1 in der »Aus«-Stellung steht, versorgt er über seinen oberen Kontakt immer noch den Taster S2 mit Strom. Wenn der Taster gedrückt wird, so dass er in seiner »Test«-Stellung steht, leitet er den Strom durch die Sensorschalter an Türen und Fenstern. Die Kabel zu diesen Schaltern werden über zwei Polklemmen angeschlossen, die hier als zwei Kreise dargestellt werden. Wenn alle Sensorschalter geschlossen sind, fließt der Strom durch die zweite Polklemme zurück, durch die unteren Kontakte von S2 und bringt die grüne LED D2 zum Leuchten. Weil S1 der Alarmschaltung keinen Strom zuführt, ertönt der Alarm hier nicht.

Wenn S1 in die »Ein«-Stellung gebracht wird, leitet er den Strom zu den Bauteilen auf der Platine. Die Transistorschaltung leitet den Strom über die grünen Drähte an S2, und solange dieser Taster nicht gedrückt wird, fließt der Strom durch den Verbund von Schaltern und zurück durch S2 zum Transistor und hält die Basis relativ negativ. Der Alarm bleibt also stumm. Sobald ein Sensorschalter geöffnet wird, ist der Schaltkreis unterbrochen und der Alarm ertönt. Er lässt sich nur unterbrechen, indem S1 wieder ausgeschaltet wird.

Zu guter Letzt: Wenn man den Taster S2 drückt, während S1 eingeschaltet ist, unterbricht man den Verbund der Schalter und aktiviert das Alarmsignal. Damit hat S2 eine Doppelfunktion: Wenn S1 ausgeschaltet ist, prüft der Taster S2 die Verbindung der Sensorschalter. Wenn S1 eingeschaltet ist, löst S2 den Alarm aus, um sicherzustellen, dass auch ein Alarmsignal ausgegeben wird. Ich glaube, das ist die einfachste Methode, diese Funktionen umzusetzen.

Die Schalter montieren

Gehäuse haben entweder eine Frontplatte aus Metall oder eine aus Kunststoff. Ich gehe davon aus, dass du eine Kunststoffplatte hast, weil es schwieriger ist, Löcher in Metall zu bohren. Oft sind die Gehäuse aus ABS-Kunststoff, das sich mit den empfohlenen Werkzeugen sehr gut bearbeiten lässt.

Du musst dich für eine Anordnung der Schalter und anderen Bauteile auf der Frontplatte entscheiden. Ich finde, es muss gut aussehen, also mache ich mir die Mühe und zeichne alles mit Zeichensoftware vor. Eine maßstabsgetreue Bleistiftzeichnung ist aber fast genauso gut. Achte nur darauf, dass für alle Bauteile genug Platz ist und dass du sie so ähnlich wie im Schaltplan platzierst, um Verwechslungen zu vermeiden.

Befestige deine Zeichnung mit Klebeband an der Innenseite der Frontplatte, wie in Abbildung 3-92 dargestellt und benutze ein spitzes Werkzeug, um durch das Papier zu drücken und eine Körnung im Kunststoff in der Mitte jedes Bohrlochs zu hinterlassen. Diese Vertiefungen helfen dir gleich, den Bohrer zu zentrieren. Vergiss nicht, dass du mehrere Löcher für den Lautsprecher bohren musst, der hinter der Frontplatte angebracht wird. Das Ergebnis sieht man in Abbildung 3-93.

Ich habe alle Elemente auf der Frontplatte platziert. Die einzige Ausnahme ist die Stromversorgungsbuchse, die ich an einem Ende des Gehäuses angebracht habe. Selbstverständlich muss jedes Loch die richtige Größe für das entsprechende Bauteil haben. Sofern du einen Messschieber hast, ist dieser sehr nützlich, um Bauteile auszumessen und den richtigen Bohrer auszuwählen. Ansonsten musst du einfach gut schätzen. Löcher sollten besser zu klein als zu groß sein. Ein Entgratwerkzeug eignet sich gut dafür, Löcher ein wenig zu vergrößern, so dass das Bauteil genau hineinpasst. Das ist manchmal notwendig, wenn Bauteile einen Durchmesser haben, der ein wenig über dem genauen Bohrerdurchmesser liegt. Erweitere in diesem Fall das Loch minimal, bis es genau die richtige Größe hat.

Wenn dein Lautsprecher keine Befestigungslöcher hat, musst du ihn an der Frontplatte festkleben. Ich habe dazu 5-Minuten-Epoxidkleber verwendet. Achte darauf, nicht zuviel aufzutragen. Du solltest vermeiden, dass Klebstoff auf die Lautsprechermembran gerät.

Es kann problematisch sein, wenn man große Löcher in den dünnen und weichen Kunststoff des Gehäuses bohrt. Der Bohrer neigt dazu, steckenzubleiben und ein Chaos anzurichten. Das Problem kann man auf drei Weisen angehen:

1. Benutze einen Forstnerbohrer, wenn du einen hast. Damit kann man sehr saubere Löcher bohren.
2. Bohre nacheinander das Loch mit immer größer werdenden Bohrern.
3. Bohre ein kleineres Loch als nötig und vergrößere es mit einem Entgratwerkzeug.

Egal, welchen Ansatz du verfolgst, du musst die Frontplatte mit der Außenseite nach unten auf ein Stück Restholz legen und festspannen oder festhalten. Dann bohrst du von innen nach außen, so dass der Bohrer durch den Kunststoff in das Holz bohrt.

Abbildung 3-92. *Der Ausdruck für die Anordnung der Schalter, LEDs und anderen Teile wurde auf der Innenseite des Gehäusedeckels befestigt. Eine Ahle wird durch das Papier gedrückt, um das Zentrum jedes Lochs, das in den Deckel gebohrt wird, zu markieren.*

Abbildung 3-93. *Die Außenseite der Frontplatte nach dem Bohren. Mit einem kleinen Handbohrer kann man gute Ergebnisse erzielen, wenn die Löcher gut markiert waren.*

Abbildung 3-94. *Die Bauteile des Schaltfelds wurden in das Gehäuse eingebaut (Ansicht von der Innenseite). Der Lautsprecher wurde an seinen Platz geklebt. Der restliche Klebstoff wurde auf die LEDs gestrichen. Der Ein-/Ausschalter ist oben rechts, der zweipolige Taster oben links. Die Polklemmen, die die Verbindung zum Verbund der Magnetschalter herstellen, sind ganz unten.*

Befestige danach die Bauteile in der Frontplatte, wie in Abbildung 3-94 gezeigt, und wende deine Aufmerksamkeit dem unteren Teil des Gehäuses zu. Die Platine wird am Boden befestigt. Vier Schrauben mit Unterlegscheiben und selbstsichernden Muttern mit Kunststoffringen halten sie an Ort und Stelle. Du solltest selbstsichernde Muttern verwenden, damit sich keine Mutter lösen und zwischen die Bauteile fallen kann, wo sie einen Kurzschluss verursachen könnte.

Du musst deine Platine zurechtschneiden und darauf achten, dabei kein Bauteil darauf zu beschädigen. Überprüfe danach auch die Rückseite der Platine auf lose Reste der Kupferbeschichtung.

Falls nötig, bohre Befestigungslöcher in die Platine und achte auch hier darauf, kein Bauteil zu beschädigen. Markiere durch die Löcher die Bohrpunkte am Boden des Gehäuses und bohre auch diese. Benutze einen Senkbohrer, der die Kanten der Löcher so anschneidet, dass eine Senkkopfschraube mit der Gehäuseoberfläche eben abschließt. Stecke die Schrauben von unten durch und setze die Platine ein. Sei vorsichtig und befestige die Platine nicht zu fest im Gehäuse, damit keine Biegespannung entsteht, die eine Lötstelle oder eine Kupferleitung auf der Platine zum Reißen bringen könnte.

Ich lege gerne ein weiches Stück Kunststoff unter die Platine, um mechanische Spannungen aufzufangen. Weil du Sicherungsmuttern benutzt, die sich nicht lösen, musst du sie auch nicht besonders fest anziehen.

Teste die Schaltung noch einmal, nachdem du sie eingebaut hast, nur für den Fall der Fälle.

Die Schalter verlöten

Abbildung 3-95 zeigt, wie die Schalter verdrahtet werden. Vergiss nicht, dass S1 ein Kippschalter ist und S2 ein zweipoliger Taster mit zwei Stellungen. Zuerst solltest du entscheiden, welche Seite beim Einbau nach oben kommt. Benutze dein Multimeter, um herauszufinden, welche Anschlüsse verbunden werden, wenn man den Schalter umlegt und den Taster drückt. Du willst sicher, dass der Schalter »eingeschaltet« ist, wenn er nach oben geschaltet wird. Achte besonders darauf, wie du den Taster einbaust. Wenn du ihn falsch herum verkabelst, wird er die Anlage permanent im Test-Modus halten. Das ist nicht das, was du willst.

Merke dir, dass der mittlere Anschluss jedes Umschalters fast immer der gemeinsame Pol des Schalters ist, der mit den Anschlüssen darüber und darunter verbunden wird.

Die Platine verbindet man am besten mit Litze mit den Bauteilen der Frontplatte, weil diese biegsamer ist und die Lötstellen weniger stark mechanisch belastet. Wenn du Adernpaare miteinander verdrillst, bleibt es übersichtlich.

Achte darauf, das du die LEDs mit den kurzen, negativen Beinchen mit dem Widerstand verbindest. Dazu musst du die Drähte direkt aneinander löten. Du solltest diese blanken Drähte und Lötstellen eventuell mit Schrumpfschlauch isolieren, um die Gefahr eines Kurzschlusses beim Zusammenbau zu minimieren.

Beim Anlöten von Drähten oder anderen Bauteilen an die Anschlussfahnen der Schalter liefert dein Feinlötkolben vermutlich nicht genug Hitze, um sichere Lötstellen zu erzeugen. Du kannst dafür deinen stärkeren Lötkolben benutzen, aber du musst auf jeden Fall die Hitze ableiten, um die LEDs beim Löten zu schützen. Der Lötkolben darf mit keinem Teil länger als zehn Sekunden in Kontakt bleiben. Er schmelzt sehr schnell Isolierungen und kann sogar die Mechanik im Inneren der Schalter beschädigen.

Bei komplexeren Projekten als diesem hier sollte man die Frontplatte ordentlicher mit der Platine verbinden. Dafür ist farbiges Flachbandkabel ideal, mit Steckverbindern, die man auf die Platine stecken kann. Bei diesem Einführungsprojekt habe ich mir nicht die Mühe gemacht. Die Drähte fliegen einfach lose herum, wie man in Abbildung 3-96 sieht.

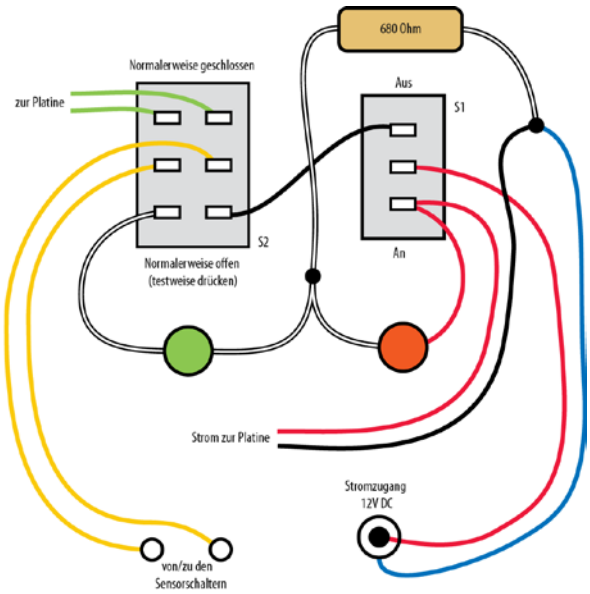


Abbildung 3-95. *Die Bauteile können so verbunden werden, um die Schaltung aus Abbildung 3-91 nachzubauen. Die roten und grünen Kreise sind die LEDs. Kleine schwarze Punkte zeigen Lötverbindungen zwischen Drähten an.*

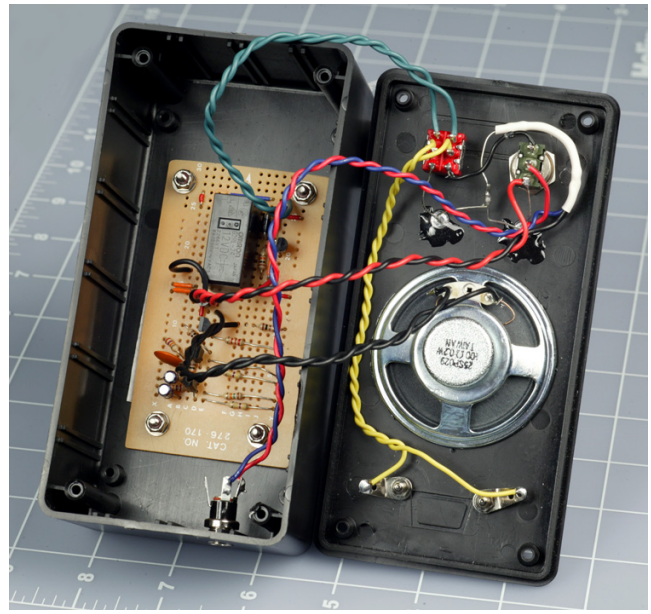


Abbildung 3-96. *Die Platine wurde am Boden des Gehäuses befestigt und die Stromversorgungsbuchse wurde unten eingeschraubt. Verdrillte Drahtpaare wurden direkt verlötet. Dabei wurde nicht darauf geachtet, dass es ordentlich aussieht, weil dieses Projekt relativ übersichtlich ist. Die weiße Isolierung oben rechts ist der verlötete 680-Ω-Widerstand in einem Stück Schrumpfschlauch. Weil die Kontakte des Tasters nahe beieinander liegen, muss man beim Löten sorgfältig und genau vorgehen.*

Der letzte Test

Wenn du die Schaltung fertiggestellt hast, teste sie! Wenn du deinen Verbund von Magnetsensorschaltern noch nicht aufgebaut hast, kannst du auch einfach ein Stück Draht nehmen, um die zwei Polklemmen zu verbinden. Achte darauf, dass S1 in der »Aus«-Stellung steht, löte den passenden Stecker an deine 12-Volt-Stromversorgung und stecke ihn in die Buchse. Wenn du auf den Taster drückst, sollte die grüne LED anzeigen, dass eine durchgängige Verbindung zwischen den Polklemmen besteht. Nimm den Draht weg, der die Klemmen verbindet, und drücke noch einmal auf den Taster. Die grüne LED sollte nicht leuchten.

Verbinde die Klemmen wieder miteinander und lege S1 auf die »Ein«-Stellung. Die rote LED sollte angehen. Drücke auf den Taster. Nun sollte der Alarm ausgelöst werden. Schalte ihn aus, indem du S1 aus- und wieder anschaltest. Nimm den Draht zwischen den Klemmen weg. Der Alarm sollte wieder ausgelöst werden und auch dann weitergehen, wenn du den Draht wieder anfügst.

Wenn alles so funktioniert, wie es sollte, kann jetzt der Deckel des Gehäuses zugeschraubt werden. Die Drähte werden im Inneren zusammengeschoben. Da dein Gehäuse groß genug ist, ist die Gefahr, dass sich Metallteile versehentlich berühren, sehr gering. Sei aber dennoch vorsichtig.

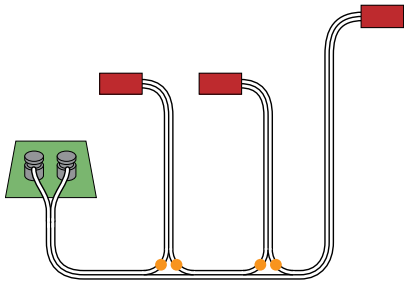


Abbildung 3-97. *Man kann die Anschlüsse an der Alarmanlage mit zweiadrigen weißen Kabeln mit den Magnetsensoren (dunkelrot) verbinden. Weil die Sensoren in Reihe geschaltet werden müssen, wird der Draht aufgetrennt und an den mit orangen Punkten markierten Stellen verlötet.*

Installation der Alarmanlage

Bevor du deine Magnetschalter anbringst, solltest du jeden von ihnen testen. Mit deinem Multimeter kannst du eine Durchgangsprüfung zwischen den beiden Anschlüssen durchführen. Führe dazu das Magnetmodul an das Schaltmodul heran und wieder weg. Der Schalter sollte schließen, wenn der Magnet daneben liegt, und sich öffnen, wenn der Magnet entfernt wird.

Zeichne dir auf, wie du deine Schalter verkabelst. Vergiss nicht, dass sie in Reihe geschaltet werden müssen, nicht parallel! Abbildung 3-97 zeigt, wie das gemeint ist. Die zwei Anschlüsse sind die Polklemmen deiner Alarmanlage (grün dargestellt) und die dunkelroten Rechtecke sind die Magnetschalter an Fenstern und Türen. Die Kabel für solche Installationen haben in der Regel zwei Adern, daher kannst du sie so verlegen, wie ich es hier zeige. Du musst sie aber auftrennen und verlöten, um die Abzweigungen herzustellen. Die Lötstellen sind als orange Punkte abgebildet. Du siehst hier, dass der Strom durch alle Schalter in Reihe fließt, bevor er wieder die Anlage erreicht.

Abbildung 3-98 stellt dieselbe Verbindung so dar, wie du sie tatsächlich für zwei Fenster und eine Tür installieren würdest. Die blauen Rechtecke sind die Magnetmodule, die die Schaltmodule aktivieren.

Dafür brauchst du natürlich eine größere Menge Kabel. Dafür eignet sich zweiadrige Litze, die für Türklingeln oder Thermostate angeboten wird. Der Durchmesser liegt hier bei 0,75 mm² oder mehr.

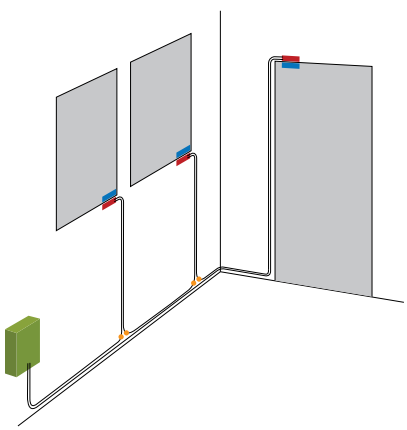


Abbildung 3-98. *Bei einer Installation für zwei Fenster und eine Tür können die Magnetmodule der Sensoren (blaue Rechtecke) so montiert werden. Die Schalter (dunkelrote Rechtecke) sind immer daneben angebracht.*

Das Übertragen der Bauteile vom Steckbrett auf die Platine ist nicht besonders schwer, solange du nicht zu viele Teile auf einmal bewegst. Folge den Vorschlägen im vorherigen Abschnitt: »Essentials: Löten auf der Lochrasterplatine« und lege oft genug eine Pause ein, um deine Verbindungen zu überprüfen. Ungeduld ist fast immer die Ursache von Fehlern bei dieser Arbeit.

Wenn du eine Batterie benutzt, achte besonders genau darauf, dass der Draht zum mittleren Anschluss der Strombuchse positiv ist! Eine 12-Volt-Batterie kann einen sehr starken Strom liefern, der deine Bauteile bei Verpolung durchbrennen kann. Es wäre tragisch, wenn dein ganzes Projekt beim letzten Arbeitsschritt zerstört würde.

Du musst nur noch den Schalter, den Taster, die Strombuchse und die Polklemmen auf der Alarmanlage beschriften. Du weißt, dass der Schalter den Strom ein- und ausschaltet und dass der Taster den Schaltkreis und den Alarm testet. Das weißt aber nur du allein. Vielleicht willst du aber auch einem Gast erlauben, die Alarmanlage in deiner Abwesenheit zu benutzen. Außerdem kannst du in einigen Monaten oder Jahren auch die Details vergessen haben. Kannst du dich dann noch daran erinnern, dass die Anlage mit 12 Volt betrieben wird? Es ist also eine gute Idee, alles zu beschriften. Wie du in Abbildung 3-99 sehen kannst, habe ich es aber bei der Anlage, die ich gebaut habe, noch nicht geschafft.

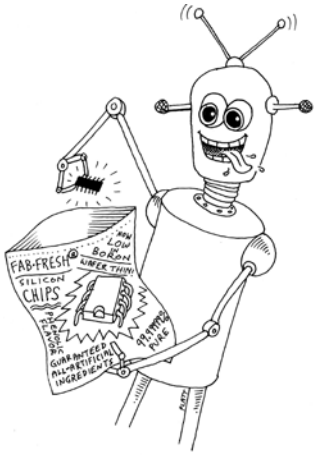
Abbildung 3-99. *Die fertige Alarmanlage in ihrem Gehäuse.*

Zusammenfassung

Bei dem Projekt Alarmanlage hast du die wichtigsten Schritte gelernt, die du gewöhnlich durchführst, wenn du etwas entwickelst:

1. Zeichne einen Schaltplan und sei dir sicher, dass du ihn verstehst.
2. Verändere den Plan, damit er sich auf einem Steckbrett aufbauen lässt.
3. Setze die Bauteile auf einem Steckbrett zusammen und teste die grundlegenden Funktionen.
4. Verändere oder verbessere die Schaltung und teste sie erneut.
5. Übertrage sie auf eine Lochrasterplatine, teste sie und verfolge Fehler, falls nötig.
6. Füge Schalter, Taster, Stromversorgungsbuchse und andere Steckverbinder hinzu, um die Schaltung mit der Außenwelt zu verbinden.
7. Befestige alles in einem Gehäuse (und beschrifte es).

Ich hoffe, du hast beim Abarbeiten dieser einzelnen Schritte die Grundlagen der Elektrizität und dabei einige einfache Theorien bezüglich Elektrizität und Grundwissen über elektronische Bauteile gelernt. Dieses Wissen ermöglicht es dir, dich jetzt mit dem viel mächtigeren Gebiet der Integrierten Schaltungen zu beschäftigen. Darum geht es in Kapitel 4.



4 Chip Ahoi!

Bevor ich jetzt zur faszinierenden Welt der Integrierten Schaltkreise (ICs, engl. »integrated circuits«) komme, muss ich noch ein Geständnis machen: Einige der Aufgaben, die ich dir in Kapitel 3 gestellt habe, hätte man auch einfacher lösen können. Habe ich also damit deine Zeit verschwendet? Nein, ich glaube fest daran, dass man das bestmögliche Verständnis für die Grundprinzipien der Elektronik bekommt, wenn man Schaltkreise mit klassischen Bauteilen aufbaut: Kondensatoren, Widerständen und Transistoren. Du wirst aber merken, das ICs, die Dutzende, Hunderte oder sogar Tausende von Transistorübergängen enthalten, oft schneller zum Ziel führen.

IN DIESEM KAPITEL

Einkaufszettel: Experimente 16 bis 24
Experiment 16: Erzeugen eines Impulses
Experiment 17: Selbst erzeugte Töne
Experiment 18: Reaktions-Timer
Experiment 19: Logik lernen
Experiment 20: Eine starke Kombination
Experiment 21: Einer wird gewinnen
Experiment 22: Kippen und Prellen
Experiment 23: Elektronische Würfel
Experiment 24: Die Alarmanlage wird fertiggestellt

Einkaufszettel: Experimente 16 bis 24

Werkzeug

Das einzige neue Werkzeug, das ich in Verbindung mit Chips empfehle, ist ein Logiktester. Dieser zeigt dir an, ob an einem einzelnen Pin oder einem Chip eine hohe Spannung (High-Pegel) oder eine niedrige Spannung (Low-Pegel) vorliegt. Das hilft zu verstehen, was deine Schaltung gerade macht. Der Tester hat eine Speicherfunktion, so dass seine LED aufleuchtet und dann an bleibt, wenn ein Impuls aufgetreten ist, der zu kurz war, um mit dem Auge gesehen zu werden.

Suche online danach und kaufe den billigsten Logiktester, den du finden kannst. Ich kann keinen Hersteller empfehlen. Der Tester in Abbildung 4-1 ist so ein Standardmodell.

Abbildung 4-1. *Ein Logiktester erkennt die hohe oder niedrige Spannung an jedem Pin eines Chips und macht dadurch Impulse sichtbar, die für das ungeübte Auge zu schnell sind.*

Verbrauchsmaterialien

IC-Chips

Wenn du alles kaufst, was auf diesem Einkaufszettel steht und auch über die Grundausstattung an Widerständen und Kondensatoren verfügst, die bereits aufgelistet wurden, solltest du alles für die Projekte in diesem Kapitel besitzen.

Da Chips relativ billig sind (rund 50 Cent pro Stück), solltest du mehr kaufen als vorgeschlagen. Dann hast du immer noch eine Reserve, wenn du einen beschädigst. Außerdem hast du dann einen Vorrat für zukünftige Projekte.

Lies bitte den folgenden Abschnitt, »Grundlagen: Chips auswählen«, bevor du auf Chip-Einkauf gehst. Die Chips solltest du relativ einfach bei allen größeren Elektronikbauteil-Anbietern bekommen, zum Teil auch bei eBay. Im Anhang findest du eine vollständige Liste der URLs.

Chips auswählen

Abbildung 4-2 zeigt das, was oft als integrierter Schaltkreis (englisch »integrated circuit«) oder kurz »IC« bezeichnet wird. Der eigentliche Schaltkreis ist in eine winzige Siliziumscheibe, den »Chip« geätzt. Dieser Chip ist in einem Kunststoffgehäuse (engl. »package«) eingegossen. Winzige Drähte verbinden die Schaltung im Inneren mit den zwei Reihen von Pins an den Längsseiten. Wenn ich in diesem Buch das Wort »Chip« benutze, meine ich immer das gesamte Objekt, inklusive der Pins, wie es auch dem allgemeinen Sprachgebrauch entspricht.

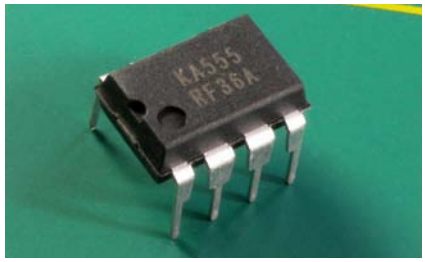


Abbildung 4-2. *Ein integrierter Schaltkreis im »Plastic Dual-Inline Pin«-Gehäuse, kurz PDIP bzw. meistens DIP.*

Die Pins haben einen Abstand von 0,1 Zoll, in zwei Reihen, die einen Abstand von 0,3 Zoll haben. Dieses Format heißt auf Englisch »Plastic Dual Inline Package«, abgekürzt als »PDIP« bzw. meistens »DIP«. Der Chip auf dem Foto hat auf jeder Seite vier Pins, es gibt andere Chips, die noch viel mehr haben. Was du als erstes wissen solltest, wenn du Chips kaufst: Wir werden nur Chips in DIP-Gehäusen verwenden. In diesem Buch kommt die modernere Variante (»surface-mount«, Oberflächenmontage) nicht vor, weil die Chips viel kleiner und nicht so leicht zu benutzen sind und man dafür spezielle Werkzeuge braucht, die relativ teuer sind. Abbildung 4-3 zeigt einen Größenvergleich zwischen einem DIP-Gehäuse mit 14 Pins und einem SMD-Gehäuse mit 14 Pins. Viele Chips zur Oberflächenmontage sind noch kleiner als der Chip im Bild.

Auf fast jedem Chip ist eine Bezeichnung, eine Teilenummer aufgedruckt. In Abbildung 4-2 ist die Teilenummer KA555. In Abbildung 4-3 ist die Teilenummer des DIP-Chips M74HC00B1 und die des SMD-Chips ist 74LVC07AD. Die zweite Zeile mit Zahlen und/oder Buchstaben kannst du ignorieren, sie gehört nicht zur Teilenummer.

Du bemerkst in Abbildung 4-3 sicher, dass die Chips zwar sehr unterschiedlich aussehen, aber beide eine »74« in der Teilenummer haben. Das liegt daran, dass beide zur 7400er-Familie von Logikchips gehören, die ursprünglich Teilenummern von 7400 aufwärts hatte (7400, 7401, 7402, 7403 usw.). Meistens sagt man heute »74xx«-Chips, wobei »xx« alle Mitglieder dieser Familie umfasst. Ich werde diese Familie sehr oft benutzen, daher musst du wissen, wie man sie kauft. Ich gebe dir einige Tipps, ohne an dieser Stelle genau ins Detail zu gehen, was die Chips tatsächlich machen.

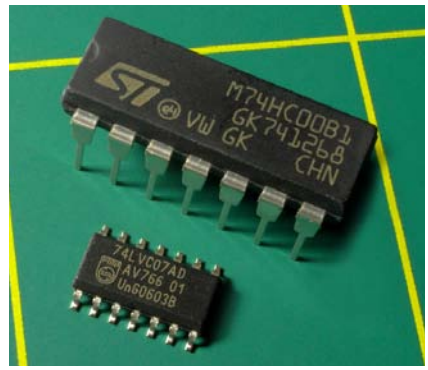


Abbildung 4-3. *Der DIP-Chip hat an der Unterseite Pins, die einen Abstand von 0,1 Zoll (2,54 mm) haben, was genau in Steckbretter oder Lochrasterplatinen passt. Er kann ohne besonderes Werkzeug eingelötet werden. Der Chip zur Oberflächenmontage (SMD) hat ein SOIC-Gehäuse (»small-outline integrated circuit«) mit Lötflächen, die 0,05 Zoll Abstand haben. Andere SMD-Chips haben Abstände von 0,025 Zoll oder noch weniger (diese Größen werden oft in Millimeter angegeben). SMD-Chips sind hauptsächlich für die automatische Montage ausgelegt und sind von Hand nur schwer zu benutzen. In diesem Foto haben die gelben Linien einen Abstand von einem Zoll, um das Verhältnis zu verdeutlichen.*

Wirf einen Blick auf Abbildung 4-4, die dir zeigt, wie du eine typische Teilenummer eines Chips aus der 74xx-Familie liest. Die Buchstaben am Anfang stehen für den Hersteller. (Du kannst sie ignorieren, weil es für unsere Zwecke keinen Unterschied macht.) Überspringe die Buchstaben, bis du zur »74« kommst. Danach stehen wieder zwei Buchstaben, die wichtig sind. Die 74xx-Familie hat sich über viele Generationen entwickelt und der Buchstabe oder die Buchstaben nach der »74« zeigen dir, mit welcher Generation du es zu tun hast. Einige dieser Generationen sind:

- 74L
- 74LS
- 74C
- 74HC
- 74AHC

GRUNDLAGEN

Chips auswählen (Fortsetzung)

Und es gibt noch mehr. Allgemein kann man sagen, dass spätere Generationen eher schneller oder vielseitiger sind als frühere Generationen. In diesem Buch benutzen wir fast ausschließlich die HC-Generation. Die Gründe dafür werde ich später erläutern.

Nach den Buchstaben, die auf die Generation hinweisen findest du zwei Zahlen (manchmal mehr). Diese zeigen die genaue Funktion des Chips an. Alle darauf folgenden Buchstaben und Zahlen kannst du ignorieren. Wenn wir uns noch einmal Abbildung 4-3 ansehen, zeigt dir die Teilenummer des DIP-Chips, M74HC00B1, dass es sich um einen Chip aus der 74-Familie handelt, Generation HC, dessen Funktion mit den Zahlen 00 angezeigt wird. Die Bezeichnung des SMD-Chips, 74LVC07AD, zeigt dir, dass es sich um einen Chip aus der 74-Familie handelt, Generation LVC, dessen Funktion mit den Zahlen 07 angezeigt wird. Aus praktischen Gründen könnten wir den ersten Chip als »74HC00« und den zweiten Chip als »74HC07« bezeichnen, weil die Schaltung im Inneren grundsätzlich immer gleich funktioniert, unabhängig vom Hersteller oder der Gehäuseform.

Der Grund für diese lange Einleitung ist der, dass du die Listen in den entsprechenden Katalogen verstehen sollst, wenn du Chips einkaufst. Wenn du nach »74HC00« suchst, sind die Suchmaschinen der Onlineshops in der Regel schlau genug, dir die passenden Chips von verschiedenen Herstellern anzuzeigen, auch wenn in deren Bezeichnungen noch zusätzliche Buchstaben vorkommen.

Stell dir vor, in einer Schaltung wird ein 74HC04-Chip gebraucht. Wenn du auf der Website eines Bauteilhändlers nach »74HC04« suchst, findest du vielleicht CD74HC04M96 von Texas Instruments, 74HC04N von NXP Semiconductors oder MM74HC04N von Fairchild Semiconductor. Weil bei allen »74HC04« in der Mitte vorkommt, ist jeder dieser Chips geeignet.

Achte nur darauf, dass du die größere DIP-Bauform kaufst und nicht die SMD-Bauform. Wenn die Teilenummer am Ende ein »N« hat, kannst du dir sicher sein, dass es ein DIP-Gehäuse ist. Wenn am Ende kein »N« steht, kann es ein DIP-Gehäuse sein, muss aber nicht. In diesem Fall musst du auf der Abbildung oder im Beschreibungstext nachsehen. Wenn die Teilenummer mit SS, SO oder TSS anfängt, ist es definitiv eine SMD-Bauform, die du nicht willst. In vielen Katalogen gibt es Fotos der Chips, damit du einfacher das richtige Gehäuse finden kannst.

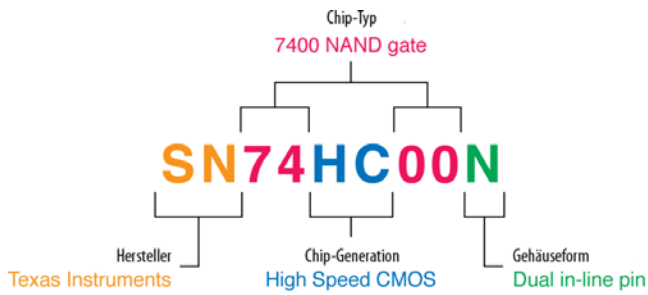


Abbildung 4-4. *Schau nach der Chipfamilie (in diesem Fall 74xx) mit der richtigen Generation (in diesem Fall HC) in der Mitte der Zahl. Achte darauf, die DIP-Version, nicht die SMD-Version zu kaufen. Der Hersteller ist egal.*

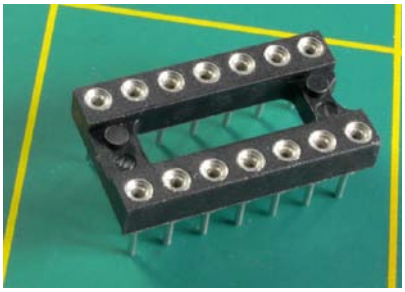


Abbildung 4-5. *Wenn du eine Schaltung auf eine Platine lötest, verhindern Fassungen, dass die Chips überhitzt werden. Sie reduzieren außerdem die Gefahr, die Chips mit statischer Elektrizität zu zerstören und sie erleichtern den Austausch.*

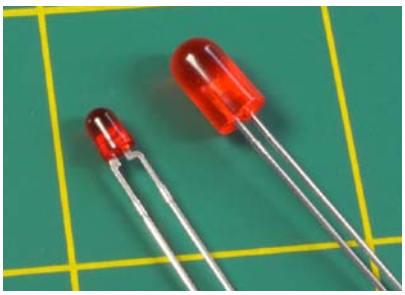


Abbildung 4-6. *Ein Logikchip der HC-Serie kann an jedem Pin nur 4 mA liefern. Das ist zu wenig, um eine normale 5-mm-LED (rechts) zu betreiben, die einen Durchlassstrom von 20 mA hat. Kleine Low-Current-LEDs (links) brauchen mit einem geeigneten Vorwiderstand minimal 1 mA und sind ideal für Testschaltungen, in denen du Ausgangssignale einfach sichtbar machen willst.*

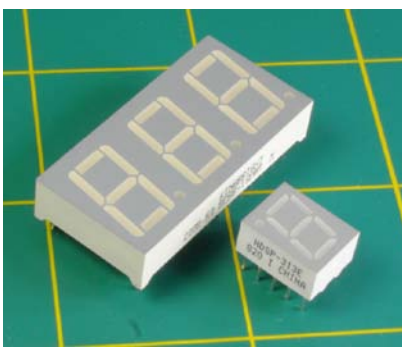


Abbildung 4-7. *Sieben-Segment-Anzeigen sind die einfachste Möglichkeit, einen numerischen Ausgang darzustellen und können von einigen CMOS-Chips direkt angesteuert werden. Bei fertigen Geräten sitzen sie meist hinter transparenten roten Kunststoffscheiben.*

Das ist deine Chip-Liste:

- 555-Timer. STMicroelectronics SA555N, Fairchild NE555D oder ähnlich. Kaufe nicht die »CMOS«-Version dieses Chips oder irgendeine Variante mit höherer Genauigkeit oder so. Kaufe die billigsten, die du finden kannst. Anzahl: 10. Der Chip in Abbildung 4-2 ist ein 555-Timer.
- Die Logikchips der Typen 74HC00, 74HC02, 74HC04, 74HC08, 74HC32 und 74HC86. Die tatsächlichen Bezeichnungen können z.B. M74HC00B1, M74HC02B1, M74HC04B1 usw. von STMicroelectronics oder SN74HC00N, SN74HC02N, SN74HC04N usw. von Texas Instruments sein. Der Hersteller ist egal.
- Denke daran, dass jede Bestellnummer in der Mitte »HC« haben sollte. Du brauchst die DIP- oder PDIP-Gehäusevariante, nicht »surface-mount«. Anzahl: je Chip mindestens 4.
- 4026-Dekadenzähler (ein Chip, der in Zehnern zählt). Texas Instruments CD4026BE oder ähnlich. Menge: 4 (du brauchst 3, aber weil dies ein CMOS-Chip ist, der empfindlich auf statische Aufladung reagiert, solltest du mindestens einen in Reserve haben). Jeder Chip mit »4026« in der Bezeichnung sollte passen.
- 74LS92 (Zähler), 74LS06 (Open-Collector-Inverter) und 74LS27 (dreifaches NOR-Gatter). Anzahl: je 2. Achte auf das »LS« in der Bezeichnung! Es gibt ein Experiment, bei dem du die LS-Generation anstelle der HC-Generation benutzen sollst.

IC-Fassungen

Du solltest es vermeiden, Chips direkt auf eine Platine zu löten. Wenn du sie beschädigst, lassen sie sich nur schwer wieder entfernen. Kaufe einige DIP-Fassungen, löte diese auf die Platine und stecke dann die Chips in die Fassungen. Du kannst die billigsten Fassungen benutzen, die du findest (für unsere Zwecke brauchen wir keine vergoldeten Kontakte). Du brauchst DIP-Fassungen mit 8 Pins, 14 Pins und 16 Pins, z.B. die Bestellnummern »GS 8«, »GS 14« und »GS 16« von Reichelt Elektronik. Siehe Abbildung 4-5. Anzahl: mindestens je 5.

Low-Power-LEDs

Die Logikchips, die du benutzen wirst, sind nicht dazu gedacht, viel Strom zu liefern. Man muss Transistoren hinzufügen, um ihre Ausgabe zu verstärken, wenn du damit helle LEDs oder Relais steuern willst. Weil es umständlich ist, Transistoren hinzuzufügen, schlage ich eine Alternative vor: Es gibt spezielle LEDs (»low-power« oder »low-current«), die minimal 1 mA ziehen, wie z.B. von Everlight (erhältlich z.B. bei Conrad). Abbildung 4-6 zeigt einen Größenvergleich mit einer normalen 5-mm-LED. Anzahl: mindestens 10.

Sieben-Segment-Anzeigen

Für mindestens eines unserer Projekte brauchst du einige Sieben-Segment-LED-Ziffern. Du brauchst entweder drei einzelne Ziffern oder ein Modul mit drei Ziffern, wie das Modell BC56-11EWA von Kingbright, auf das ich in den Schaltplänen hier im Buch direkt eingehe. Wenn du eine andere Sieben-Segment-Anzeige kaufst, müssen die LEDs eine gemeinsame Kathode haben.

(Kaufe keine LCD-Ziffern. Man benötigt eine andere Schaltung, um sie zu betreiben.) Wenn du aus verschiedenen Modulen mit unterschiedlicher Stromaufnahme wählen kannst, kaufe die Anzeige mit dem geringsten Stromverbrauch. Siehe Abbildung 4-7.

Haftrelais

Du brauchst ein 5-Volt-Haftrelais mit zwei Spulen anstelle von nur einer. Die erste Spule schaltet das Relais in eine Richtung, die zweite Spule schaltet es zurück. Das Relais verbraucht keinen Strom, wenn es passiv in einer Stellung verbleibt. Ich schlage das Relais Panasonic DS2E-SL2-DC5V vor. Wenn du ein anderes Haftrelais kaufst, muss es zwei Spulen haben, mit 5 Volt Gleichstrom laufen, mindestens 1 Ampere schalten und ein »2 form C«-Gehäuse haben, um auf dein Steckbrett zu passen.

Potentiometer

Du brauchst lineare Potentiometer mit den Werten 5 kΩ, 10 kΩ und 100 kΩ (je eines). Außerdem einen Trimmer mit 10 kΩ. Der Hersteller ist egal.

Spannungsregler

Weil viele Logikchips genau 5 Volt Gleichstrom brauchen, benötigst du einen Spannungsregler. Dies kann z.B. ein LM7805 sein. Auch hier wird vor oder nach der Chipnummer eine Abkürzung stehen, die den Hersteller und die Gehäuseform angibt, z.B. beim LM7805CT von Fairchild. Der Hersteller ist egal, aber das Gehäuse sollte so aussehen wie in Abbildung 4-8. Wenn du die Wahl hast, kaufe einen Spannungsregler, der mindestens 1 Ampere liefern kann.

Drucktaster

Das sind kleine einpolige Taster, normalerweise mit vier Beinchen. Es gibt sie z.B. unter der Bezeichnung »SKHHAKA010« von der Firma ALPS, aber auch bei fast allen Versandhändlern. Wichtig ist, dass sie in dein Steckbrett oder deine Platine passen. Siehe Abbildung 4-9.

Ziffernblock mit 12 Tasten

Von verschiedenen Herstellern, z.B. über Conrad (Bestellnummer 195561). Anzahl: 1

Dieser Ziffernblock hat dieselbe Tastenanordnung wie ein herkömmliches Tastentelefon. Es sollte mindestens 13 Pins oder Kontakte haben, von denen zwölf mit den einzelnen Tasten verbunden sind und der 13. mit der anderen Seite aller Schalter verbunden ist. Anders gesagt, der letzte Pin ist der »gemeinsame Anschluss«, worauf du beim Kauf achten solltest. Was du nicht brauchst, ist eine so genannte Matrixtastatur, die weniger als 13 Anschlüsse hat, weil wir dafür eine zusätzliche Schaltung bräuchten. Siehe Abbildungen 4-10 und 4-11. Wenn du nicht das Modell findest, das ich vorgeschlagen habe, sieh dir genau die Beschreibungen und Fotos an, um sicherzugehen, dass du keine Matrixtastatur, sondern eine mit gemeinsamem Anschluss kaufst.

Alternativ kannst du auch zwölf billige einpolige Taster (Schließer) kaufen und in ein kleines Gehäuse einbauen.

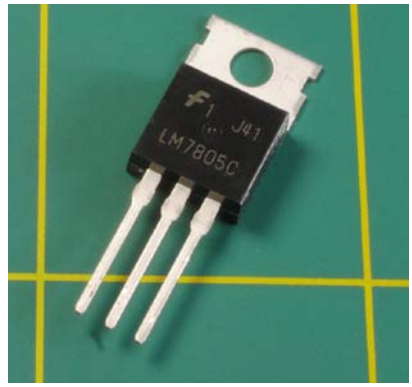


Abbildung 4-8. *Viele integrierte Schaltungen benötigen eine geregelte Spannungsversorgung von 5 Volt, die dieser Spannungsregler liefert, wenn man 7,5 bis 9 Volt anlegt. Der linke Pin ist der Pluspol der Eingangsspannung, der mittlere Pin ist die gemeinsame Masse und der rechte Pin ist der 5-Volt-Ausgang. Für Strom über 250 mA sollte auf den Spannungsregler ein Kühlkörper geschraubt werden.*

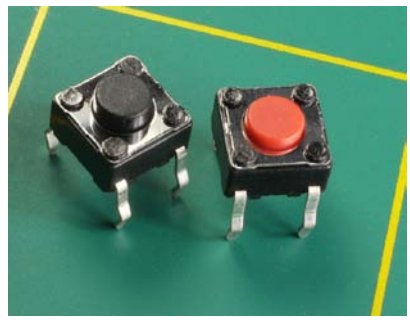


Abbildung 4-9. *Ein Drucktaster hat einen spürbaren Druckpunkt, den man beim Drücken mit dem Finger spürt. Es sind fast immer einpolige Taster, die auf Platinen mit dem genormten Lochabstand von 1/10-Zoll passen.*

Abbildung 4-10. *Wenn du einen Ziffernblock kaufst, sollte er zwölf Tasten im Design eines Tastentelefons haben, die wie auf einem Telefon angeordnet sind, und über mindestens 13 Kontakte verfügen. Die Kontakte sieht man hier an der Unterkante.*

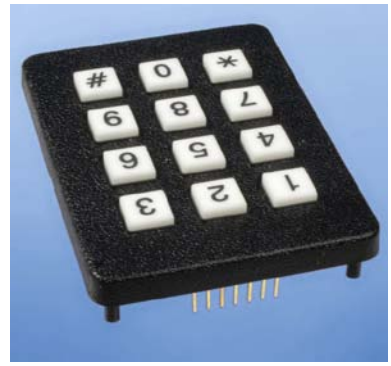


Abbildung 4-11. *Dieser Ziffernblock hat zu wenig Anschlüsse und funktioniert nicht mit den Schaltungen in diesem Buch.*

HINTERGRUNDWISSEN

Wie die Chips enstanden

Die Idee, Halbleiterbauteile in einem kleinen Gehäuse zusammenzufassen, stammt vom britischen Radarforscher Geoffrey W. A. Dummer, der schon jahrelang davon gesprochen hatte, bevor er 1956 versuchte, einen Chip zu bauen, und dabei scheiterte. Der erste echte integrierte Schaltkreis wurde erst 1958 von Jack Kilby hergestellt, der bei Texas Instruments arbeitete. Kilby benutzte Germanium, weil dieses Element bereits in Halbleitern eingesetzt wurde. (Du wirst noch eine Germaniumdiode kennen lernen, wenn ich im nächsten Kapitel des Buches zum Detektorradio komme.) Aber Robert Noyce, zu sehen in Abbildung 4-12, hatte eine bessere Idee.

Noyce wurde 1927 in Iowa geboren und zog in den 1950er Jahren nach Kalifornien, wo er bei William Shockley eine Arbeitsstelle fand. Das war kurz nachdem Shockley in das Geschäft mit Transistoren eingestiegen war, an deren Erfindung bei Bell Labs er beteiligt war.

Noyce war einer der acht Angestellten, die mit Shockleys Führungsstil unzufrieden waren und die kündigen, um Fairchild Semiconductor zu gründen. Als Geschäftsführer von Fairchild erfand Noyce einen integrierten Schaltkreis auf Siliziumbasis, bei dem die Herstellungsprobleme, die es beim Einsatz von Germanium gab, vermieden wurden. Er wird allgemein als der Mann angesehen, der integrierte Schaltkreise möglich machte.

Die frühen Anwendungen waren militärischer Art: die »Minuteman«-Raketen benötigten kleine und leichte Bauteile in ihren Lenksystemen. Für diese Anwendungen wurden fast alle Chips benutzt, die in den Jahren 1960 bis 1963 hergestellt wurden. In dieser Zeit fiel der Stückpreis von ca. 1000 auf 25 Dollar im Jahre 1963 (nicht inflationsbereinigt).

In den späten 1960er Jahren kamen Chips mit mittlerem Integrationsgrad auf den Markt, von denen jeder Hunderte von Transistoren enthielt. Chips mit großem Integrationsgrad ermöglichten in der Mitte der 1970er Jahre Zehntausende Transistoren auf einem Chip. Die aktuellen Chips können mehrere Milliarden Transistoren enthalten.

Robert Noyce gründete später zusammen mit Gordon Moore die Firma Intel und starb 1990 überraschend an einem Herzinfarkt. Die faszinierende Geschichte des ersten Chips und ihrer Herstellung kannst du auch (in englischer Sprache) unter *http://www.siliconvalleyhistorical.org* nachlesen.

Abbildung 4-12. *Dieses Bild zeigt Robert Noyce zu einem späteren Zeitpunkt seiner Karriere und stammt von Wikimedia Commons.*

Experiment 16: Erzeugen eines Impulses

Ich stelle dir jetzt den erfolgreichsten Chip aller Zeiten vor: den 555-Timer. Weil man online zahlreiche Anleitungen dafür findet, fragst du dich vielleicht, warum ich ihn hier ausführlich beschreibe, aber ich habe drei Gründe dafür:

1. Es ist unvermeidbar. Du musst diesen Chip einfach kennen. Laut einigen Quellen wird er immer noch in einer Größenordnung von mehr als 1 Milliarde im Jahr hergestellt. Der Chip wird auf die eine oder andere Weise in allen noch in diesem Buch gezeigten Schaltungen vorkommen.
2. Er eignet sich perfekt für die Einführung in integrierte Schaltungen, weil er stabil und vielseitig ist und weil mit ihm zwei Funktionen verdeutlicht werden können, mit denen wir später zu tun haben werden: Vergleicher und Flip-Flop.
3. Nachdem ich alle Anleitungen zum 555 gelesen hatte, die ich finden konnte, angefangen vom Datenblatt des ursprünglichen Herstellers Fairchild Semiconductor bis hin zu diversen Einsteigertexten, kam ich zu dem Schluss, dass kaum genau erklärt wird, wie der Chip im Inneren funktioniert. Ich will dir ein Verständnis davon vermitteln, was im Inneren passiert. Wenn du das nicht weißt, bist du auch nicht wirklich in Lage, diesen Chip kreativ einzusetzen.

Das brauchst du:

- 9-Volt-Spannungsversorgung.
- Steckbrett, Drahtbrücken und Multimeter.
- 5-kΩ-Potentiometer, linear. Anzahl: 1
- 555-Timer-Chip. Anzahl: 1.
- Diverse Widerstände und Kondensatoren.
- Einpolige Drucktaster. Anzahl: 2.
- LED (egal welche). Anzahl: 1.

Ablauf

Der 555-Chip ist sehr robust, aber du kannst ihn theoretisch trotzdem mit einer Entladung von statischer Elektrizität unbrauchbar machen. Um also auf der sicheren Seite zu sein, solltest du dich erden, bevor du damit arbeitest. In der Hinweisbox »Statische Aufladungen verhindern« auf Seite 170 findest du mehr Informationen zu diesem Thema. Auch wenn diese Warnung vor allem für CMOS-Chips gilt, die besonders empfindlich sind, ist es immer eine sinnvolle Vorsichtsmaßnahme, sich zu erden.

Drehe den Chip so, dass sich die kleine runde Markierung oder *Vertiefung* an einer Ecke des Chips oben links befindet und die Beinchen nach unten zeigen. Wenn dein Chip stattdessen an einem Ende eine Kerbe hat, drehe den Chip so, dass die Kerbe oben liegt.

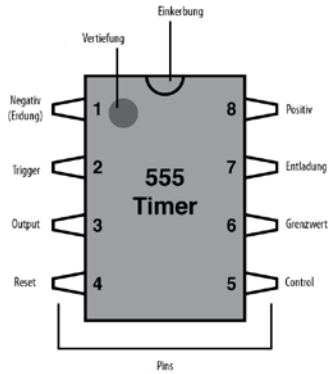


Abbildung 4-13. *Der 555-Timer von oben gesehen. Die Pins von Chips werden immer gegen den Uhrzeigersinn nummeriert, angefangen oben links. Die Kerbe oben am Gehäuse oder die runde Vertiefung oben links zeigt an, wo oben ist.*

Die Pins werden bei Chips immer entgegen dem Uhrzeigersinn nummeriert, beginnend am Pin oben links (neben der Markierung). Siehe Abbildung 4-13, in der auch die Namen der Pins auf dem 555-Timer zu lesen sind, auch wenn du die meisten davon jetzt noch nicht wissen musst.

Stecke den Chip in dein Steckbrett, so dass er genau auf der Rille in der Mitte sitzt. Jetzt kannst du den Pins auf beiden Seiten einfach Spannungen zuführen und Signale daraus auslesen. In Abbildung 4-14 siehst du in unserem ersten Projekt genau, wie man ihn einsetzt. Der Timer wird mit »IC1« bezeichnet, weil IC die Standardabkürzung für »integrated circuit« ist.

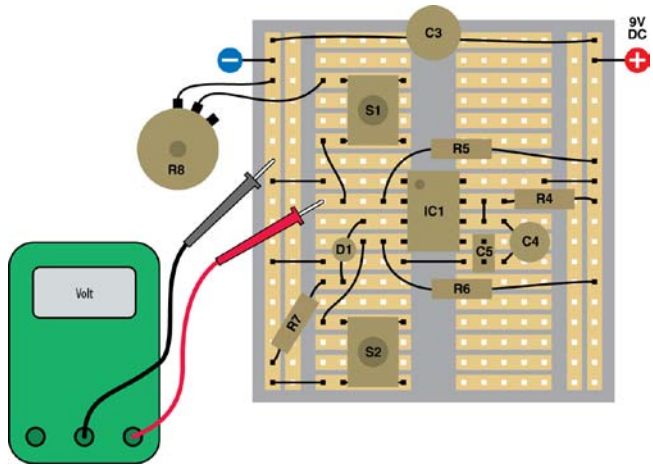


Abbildung 4-14. *Mit dieser Schaltung kannst du das Verhalten des 555-Timers erforschen. Benutze dein Multimeter, um die Spannung an Pin 2 wie gezeigt zu überwachen. Es gibt keine Widerstände namens R1, R2 oder R3 und keine Kondensatoren namens C1 und C2, weil sie erst in einer späteren Schaltung hinzukommen. Die Bauteilwerte in diesem Schaltplan:*

R4: 100 kΩ
R5: 2,2 kΩ
R6: 10 kΩ
R7: 1 kΩ
R8: 5-kΩ-Potentiometer, linear
C3: 100 µF (Elko)
C4: 47 µF (Elko)
C5: 0,1 µF (Kerko)
IC1: 555-Timer
S1, S2: einpolige Drucktaster (Schließer)
D1: normale LED

R5 hält den Trigger (Pin 2) positiv, bis S1 gedrückt wird, der die Spannung in Abhängigkeit von der Stellung des Potis R8 absenkt. Wenn die Triggerspannung unter 1/3 der Versorgungsspannung fällt, wechselt der Ausgang des Chips (Pin 3) für eine Dauer, die von den Werten von R4 und C4 abhängt, auf High-Pegel. S2 setzt den Timer auf Null zurück, indem er die Spannung an Pin 4 (Reset) absenkt. C3 glättet die Versorgungsspannung. C5 isoliert Pin 5 (Control), damit er nicht die Funktion dieser Testschaltung stört. (Wir werden Pin 5 in einem folgenden Experiment benutzen.)

Alle integrierten Schaltungen brauchen eine Stromversorgung. Der 555 wird mit negativer Spannung an Pin 1 und positiver Spannung an Pin 8 versorgt. Wenn du versehentlich die Spannung verpolst, kann der Chip dauerhaft beschädigt werden, also achte entsprechend darauf, wenn du die Drahtbrücken einsteckst.

Stelle dein Netzteil auf 9 Volt. Bei diesem Experiment ist es praktisch, wenn du den Pluspol mit der rechten Seite und den Minuspol mit der linken Seite des Steckbrett verbindest, wie in Abbildung 4-14 zu sehen. C3 ist ein großer Kondensator, mindestens 100 µF, der zwischen die Anschlüsse des Netzteils gesteckt wird. Er glättet die Versorgungsspannung und fungiert als Stromzwischenspeicher für schnell schaltende Stromkreise und schützt auch vor anderen Spannungsschwankungen. Der 555 schaltet nicht gerade schnell, andere Chips hingegen schon. Du solltest es dir angewöhnen, sie so zu schützen.

Fange damit an, dass du das Potentiometer ganz an den linken Anschlag drehst, um den Widerstand zwischen den zwei Anschlüssen, die wir benutzen, zu maximieren. Wenn du mit deinem Multimeter an Pin 2 misst, solltest du etwa 6 Volt erhalten, sobald du auf S1 drückst.

Wenn die LED nicht aufleuchtet, drehe das Potentiometer langsam auf und drücke immer wieder auf den Taster. Wenn du das Poti etwa zwei Drittel weit aufgedreht hast, sollte die LED für etwa 5 Sekunden aufleuchten, wenn du den Taster drückst und loslässt. Hier einige Fakten, die du selbst überprüfen solltest:

- Die LED leuchtet weiter, nachdem du den Taster losgelassen hast.
- Du kannst den Taster beliebig lang drücken (kürzer als die Einschaltzeit des Timers) und die LED blinkt immer gleich lang auf.
- Der Timer wird durch einen Abfall der Spannung am Pin 2 ausgelöst. Du kannst das mit deinem Multimeter bestätigen.
- Die LED ist entweder ganz an oder ganz aus. Du kannst kein schwaches Leuchten sehen, wenn sie ausgeschaltet ist. Der Übergang von an zu aus und aus zu an ist sehr kurz und direkt.

Sieh in Abbildung 4-16 nach, wie die Bauteile auf deinem Steckbrett aussehen sollten. Dann schau dir den Schaltplan in Abbildung 4-15 an, um zu verstehen, was passiert. Ich werde später weitere Bauteile hinzufügen, die dann mit R1, R2, C1 und C2 bezeichnet werden, damit sie mit den Datenblättern des 555-Timers übereinstimmen, die du vielleicht lesen wirst. Daher sind in dieser ersten Schaltung die Widerstände mit R4 usw. und die Kondensatoren mit C3 usw. bezeichnet.

Wenn S1 (der Drucktaster) offen ist, bekommt Pin 2 des 555-Timers durch R5 (2,2 kΩ) positive Spannung. Weil der Eingangswiderstand des Timers sehr hoch ist, liegt an Pin 2 fast die volle 9-Volt-Spannung an.

Wenn du auf den Taster drückst, verbindet er die negative Spannung durch R8, das Poti mit 5 kΩ, mit Pin 2. Daher formen R8 und R5 einen Spannungsteiler mit Pin 2 in der Mitte. Vielleicht erinnerst du dich noch an dieses Konzept, das du beim Testen der Transistoren kennen gelernt hast. Die Spannung zwischen den Widerständen verändert sich in Abhängigkeit von den Widerstandswerten.

Wenn R8 etwa halb aufgedreht ist, ist der Wert ungefähr derselbe wie von R5. Das bedeutet, dass am Teilungspunkt an Pin 2 ungefähr die Hälfte der 9 Volt vom Netzteil anliegen. Wenn du das Poti weiterdrehst, so dass sein Widerstand weiter sinkt, überwiegt die negative Spannung gegenüber der positiven und die Spannung an Pin 2 fällt nach und nach ab.

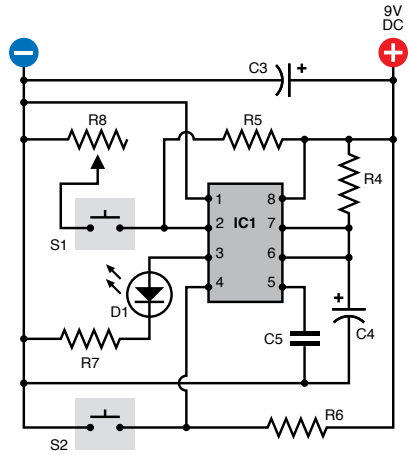


Abbildung 4-15. *Ein Schaltplan der Schaltung aus Abbildung 4-14. Im ganzen Kapitel werden die Schaltpläne immer so dargestellt, dass sie der Platzierung auf dem Steckbrett möglichst nahe kommen. Das ist nicht immer der einfachste Aufbau, aber es wird für dich einfacher, es nachzubauen. In Abbildung 4-14 stehen die Werte der Bauteile.*

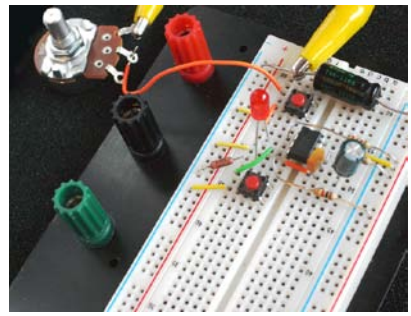


Abbildung 4-16. *So sehen die Bauteile auf dem Steckbrett aus. Die Krokodilklemmen sind an einem Kabel angeschlossen, das den 100-µF-Kondensator mit dem Potentiometer verbindet. Die Stromversorgung ist nicht abgebildet.*

Wenn du an deinen Prüfleitungen Klemmhaken hast, kannst du sie an die nächstgelegene Drahtbrücke klemmen und das Multimeter beachten, während du das Potentiometer hin und her drehst und dabei den Taster drückst.

Die Diagramme in Abbildung 4-17 verdeutlichen, was passiert. Das obere Diagramm zeigt die Spannung, die durch zufälliges Drücken auf den Taster an Pin 2 geleitet werden, während das Potentiometer auf verschiedene Werte gestellt wird. Das untere Diagramm zeigt, dass der 555 nur (und nur dann) getriggert (ausgelöst) wird, wenn die Spannung an Pin 2 von mehr als 3 Volt unter weniger als 3 Volt fällt. Was ist an den 3 Volt so besonders? Es ist ein Drittel unserer Versorgungsspannung von 9 Volt.

Folgende Erkenntnisse kannst du dir merken:

- Der Ausgang des 555 (Pin 3) gibt einen *positiven* Impuls ab, wenn der Trigger (»Auslöser«, Pin 2) *unter* ein Drittel der Versorgungsspannung fällt.
- Der 555 liefert jedes Mal einen positiven Impuls *derselben Länge* (solange du nicht noch länger eine niedrige Spannung an Pin 2 anlegst.)
- Ein *größerer* Wert für R4 oder für C4 *verlängert* den Impuls.
- Wenn am Ausgang (Pin 3) ein logischer High-Pegel vorliegt, ist die Spannung fast genau so hoch wie die Versorgungsspannung. Wenn der Ausgang einen logischen Low-Pegel aufweist, ist die Spannung fast Null.

Der 555 wandelt seine fehlerhafte Umwelt in eine genaue und verlässliche Ausgabe um. Er schaltet nicht ganz ad hoc an und aus, aber schnell genug, so dass keine Verzögerung wahrgenommen wird.

Du kannst noch eine Sache versuchen. Löse den Timer aus, so dass die LED aufleuchtet. Während sie leuchtet, drücke auf den zweiten Taster, S2, der Pin 4 (Reset) erdet. Die LED sollte sofort ausgehen.

Wenn die Spannung auf *low* (niedrig) gezogen wird, fällt auch der Ausgang auf *low*, egal welche Spannung du am Trigger anlegst.

Es gibt noch eine letzte Sache, auf die du achten solltest, bevor wir den Timer für interessantere Aufgaben benutzen. Ich habe R5 und R6 in der Schaltung benutzt, damit der Timer keinen Impuls abgibt, wenn du ihn das erste Mal einschaltest, aber dafür bereit ist. Diese Widerstände legen eine positive Spannung auf den Trigger- und den Reset-Pin, so wird sichergestellt, dass der 555-Timer startbereit ist, wenn du ihn einschaltest.

Solange die *Trigger*-Spannung *high* (hoch) ist, *gibt* der Timer keinen Impuls ab. (Er gibt einen Impuls ab, wenn die Trigger-Spannung abfällt.)

Solange die *Reset*-Spannung *high* ist, *kann* der Timer einen Impuls abgeben. (Er hört damit auf, wenn die Reset-Spannung abfällt.)

R5 und R6 bezeichnet man auch als »Pull-up-Widerstände«, weil sie die Spannung hochziehen. Man kann sie einfach überwinden, indem man eine direkte Verbindung zum Minuspol der Stromversorgung herstellt. Ein Pull-up-Widerstand für den 555-Timer hat in der Regel 10 kΩ. Bei einer Spannung von 9 Volt lässt er (nach dem Ohmschen Gesetz) nur 0,9 mA passieren.

Vielleicht fragst du dich dann noch, wozu C5 an Pin 5 gut ist. Dieser Pin heißt »Control Voltage« (Steuerspannung), das bedeutet, dass man die Empfindlichkeit des Timers steuern kann, wenn man eine Spannung anlegt. Ich gehe darauf später noch genauer ein. Da wir diese Funktion im Moment nicht brauchen, gehen wir den üblichen Weg und legen einen Kondensator an Pin 5 an, um ihn vor Spannungsschwankungen zu schützen und zu verhindern, dass er die normale Funktion beeinflusst.

Bevor du weitermachst, solltest du dich mit den Grundfunktionen des 555-Timers unbedingt vertraut machen.

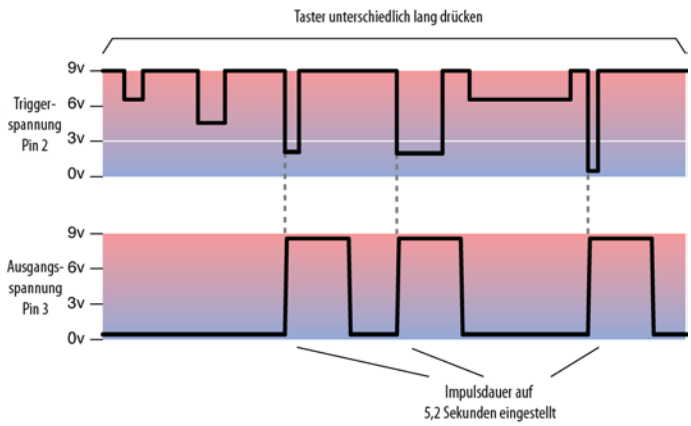


Abbildung 4-17. *Das obere Diagramm zeigt die Spannung am Trigger (Pin 2), wenn der Taster unterschiedlich lange gedrückt wird und mit unterschiedlichen Stellungen des Potis. Das untere Diagramm zeigt den Ausgang (Pin 3), der ansteigt, bis er fast gleich der Versorgungsspannung ist, sobald die Spannung an Pin 2 unter 1/3 der Versorgungsspannung fällt.*

GRUNDLAGEN

Die folgende Tabelle zeigt die Impulsdauer des 555 im monostabilen Modus:

- Die Dauer ist in Sekunden angegeben und auf zwei Nachkommastellen gerundet.
- Die horizontale Skala enthält übliche Widerstandswerte zwischen Pin 7 und dem Pluspol.
- Die vertikale Skala enthält übliche Kondensatorwerte zwischen Pin 6 und dem Minuspol.

So berechnest du eine andere Impulsdauer: Widerstand × Kapazität × 0,0011. Dabei ist der Widerstand in Kiloohm, die Kapazität in Mikrofarad und die Dauer in Sekunden angegeben.

47 µF	0,05	0,11	0,24	0,52	1,1	2,4	5,2	11	24	52
22 µF	0,02	0,05	0,11	0,24	0,53	1,1	2,4	5,3	11	24
10 µF	0,01	0,02	0,05	0,11	0,24	0,52	1,1	2,4	5,2	11
4,7 µF		0,01	0,02	0,05	0,11	0,24	0,52	1,1	2,4	5,2
2,2 µF			0,01	0,02	0,05	0,11	0,24	0,53	1,1	2,4
1,0 µF				0,01	0,02	0,05	0,11	0,24	0,52	1,1
0,47 µF					0,01	0,02	0,05	0,11	0,24	0,52
0,22 µF						0,01	0,02	0,05	0,11	0,24
0,1 µF							0,01	0,02	0,05	0,11
0,047 µF								0,01	0,02	0,05
0,022 µF									0,01	0,02
0,01 µF										0,01
	1 kΩ	2,2 kΩ	4,7 kΩ	10 kΩ	22 kΩ	47 kΩ	100 kΩ	220 kΩ	470 kΩ	1 MΩ

THEORIE

Ein Blick in den 555: Monostabiler Modus

Das Kunststoffgehäuse des 555-Timers enthält eine Siliziumscheibe, auf der Dutzende Transistorübergänge eingeätzt sind. Die Schaltung ist viel zu komplex, als dass sie hier erklärt werden könnte. Ich kann aber die Funktion dieser Übergänge beschreiben, indem ich sie in Gruppen einteile wie in Abbildung 4-18 zu sehen. Außerdem sind noch ein externer Widerstand und zwei externe Kondensatoren abgebildet, die genauso benannt sind wie in Abbildung 4-15.

Die Plus- und Minussymbole im Inneren des Chips sind die Stromquellen, die von den Pins 8 und 1 kommen. Ich habe diese internen Verbindungen mit den Pins weggelassen, damit es übersichtlich bleibt.

Die zwei gelben Dreiecke sind »Komparatoren« (Vergleicher). Jeder Komparator vergleicht zwei Eingangswerte (an der Basis des Dreiecks) und liefert ein Ausgangssignal (an der Spitze des Dreiecks), das davon abhängt, ob die Eingangswerte gleich oder unterschiedlich sind. Wir werden später im Buch die Komparatoren für andere Zwecke benutzen.

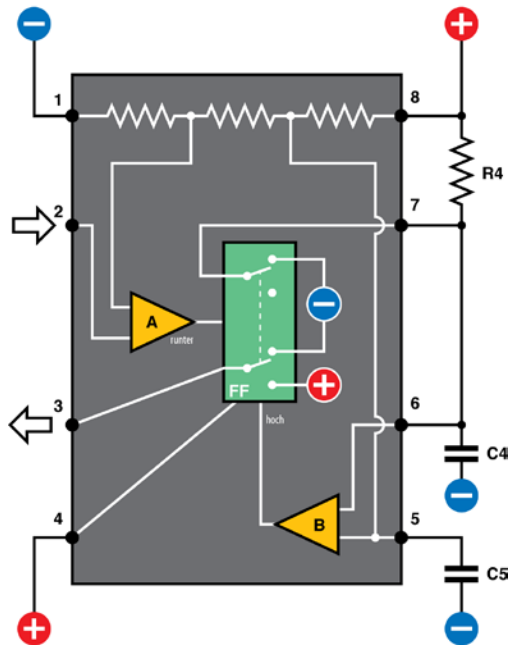


Abbildung 4-18. *Ein Blick in den 555-Timer. Weiße Linien sind Verbindungen im Chip. A und B sind Komparatoren. FF ist ein Flip-Flop, das in zwei Zuständen stabil sein kann, wie ein Kippschalter. Ein Spannungsabfall an Pin 2 wird vom Komparator A erkannt, der das Flip-Flop in die »untere« Stellung kippen lässt und einen positiven Impuls aus Pin 3 abgibt. Wenn die Ladung von C4 2/3 der Versorgungsspannung erreicht, wird das von Komparator B erkannt, der das Flip-Flop in die »obere Stellung« zurück kippen lässt. Dadurch wird C4 durch Pin 7 entladen.*

Das grüne Dreieck mit der Angabe »FF« ist ein »Flip-Flop«. Ich habe es als zweipoligen Wechselschalter gezeichnet, weil es hier so funktioniert, auch wenn es natürlich in Wahrheit ein Halbleiter ist.

THEORIE

Ein Blick in den 555: Monostabiler Modus (Fortsetzung)

Wenn du den Chip mit Strom versorgst, ist das Flip-Flop in der »oberen« Schaltstellung, so dass am Ausgang, Pin 3, eine niedrige Spannung anliegt. Wenn das Flip-Flop ein Signal vom Komparator A erhält, kippt es in den »unteren« Zustand und bleibt dort. Wenn es ein Signal vom Komparator B erhält, kippt es wieder in den »oberen« Zustand und bleibt dort. Die Anmerkungen »auf« und »ab« an den Komparatoren zeigen dir, was diese machen, wenn sie aktiviert werden.

Flip-Flops sind ein Grundprinzip der Digitalelektronik. Ohne sie könnten Computer nicht funktionieren.

Beachte den externen Draht, der Pin 7 mit dem Kondensator C4 verbindet. Solange das Flip-Flop »oben« ist, senkt es die positive Spannung, die durch R4 kommt und verhindert, dass der Kondensator aufgeladen wird.

Wenn die Spannung an Pin 2 unter 1/3 der Versorgungsspannung fällt, bemerkt Komparator A das und kippt das Flip-Flop. Das sendet einen positiven Impuls aus Pin 3 und unterbricht auch die negative Spannung durch Pin 7. Also kann C4 jetzt durch R4 aufladen. Während dies geschieht, wird die positive Ausgangsspannung des Timers nicht unterbrochen.

Währen die Spannung am Kondensator ansteigt, wird sie von Komparator B durch Pin 6 (»Threshold«, Schaltschwelle) überwacht. Wenn der Kondensator 2/3 der Versorgungsspannung erreicht hat, sendet Komparator B einen Impuls an das Flip-Flop, das in seinen Ursprungszustand zurück kippt. Das entlädt den Kondensator durch Pin 7, bezeichnet mit »Discharge« (Entladung). Das Flip-Flop unterbricht auch den positiven Ausgangspegel an Pin 3 und ersetzt ihn durch eine negative Spannung. Dadurch kehrt der 555 in den Anfangszustand zurück.

Ich fasse diese Folge von Ereignissen ganz einfach zusammen:

1. Zuerst erdet das Flip-Flop den Kondensator und den Ausgang (Pin 3).
2. Ein Spannungsabfall unter 1/3 der Versorgungsspannung an Pin 2 macht den Ausgang (Pin 3) positiv und erlaubt dem Kondensator C4, sich durch R4 aufzuladen.
3. Wenn der Kondensator 2/3 der Versorgungsspannung erreicht, entlädt der Chip den Kondensator und der Ausgang an Pin 3 fällt wieder auf den Low-Pegel.

In diesem Modus ist der 555-Timer »monostabil«, was bedeutet, dass er nur einen Impuls abgibt und man ihn erneut auslösen muss, um noch einen Impuls zu erhalten.

Du kannst die Länge jedes Impulses einstellen, indem du die Werte für R4 und C4 veränderst. Woher weißt du, welche Werte die richtigen sind? Schau dir die Tabelle auf Seite155 an, in der einige Richtwerte und auch die Formel, um selbst Werte zu berechnen, aufgeführt sind.

Ich habe Impulse weggelassen, die kürzer als 0,01 Sekunde sind, weil ein einzelner Impuls dieser Länge normalerweise nicht sehr nützlich ist. Außerdem habe ich die Zahlen in der Tabelle auf zwei Nachkommastellen gerundet, weil die Werte der Kondensatoren auch nur selten genauer sind.

HINTERGRUNDWISSEN

Wie der Timer entstanden ist

Im Jahre 1970, als gerade mal ein halbes Dutzend Unternehmens-Pflänzchen im fruchtbaren Boden von Silicon Valley Wurzeln geschlagen hatten, kaufte eine Firma namens Signetics dem Ingenieur Hans Camenzind eine Idee ab. Es war keine Idee, die einen großen Durchbruch bedeutete – nur 23 Transistoren und ein paar Widerstände, die als programmierbarer Timer funktionieren konnten. Der Timer sollte vielseitig, haltbar und einfach sein, aber diese Vorteile waren weniger wichtig als sein bestes Verkaufsargument: Indem sie die gerade entstehende Technik der integrierten Schaltkreise einsetzten, konnte Signetics das ganze Gerät auf einem Siliziumchip nachbauen.

Dazu waren natürlich auch einige Fehlversuche nötig. Camenzind arbeitete allein und baute das ganze Teil zuerst im Großformat auf einem Steckbrett mit handelsüblichen Transistoren, Widerständen und Dioden auf. Das funktionierte, also setzte er nach und nach Bauteile mit etwas anderen Werten ein, um festzustellen, ob die Schaltung Abweichungen während der Produktion und andere Einflüsse wie Temperaturschwankungen im Betrieb tolerieren würde. Er baute mindestens zehn verschiedene Versionen der Schaltung. Das dauerte Monate.

Dann folgte die Handarbeit. Camenzind saß an einem Zeichentisch und ritzte seine Schaltung mit einem Messer, das in einer speziellen Vorrichtung befestigt war, in eine große Kunststoffplatte. Signetics verkleinerte dieses Bild dann fototechnisch um den Faktor 300. Dieses wurde auf kleine Scheiben geätzt, von denen wiederum jede in einen zentimetergroßen Quader aus schwarzem Kunststoff eingegossen wurde, auf den man die Bezeichnung aufdruckte. So entstand der 555-Timer.

Es wurde der erfolgreichste Chip der Geschichte, sowohl nach Verkaufszahlen (bisher im zweistelligen Milliardenbereich) als auch nach der Lebensdauer des Produkts (seit fast 40 Jahren unverändert). Der 555 wurde überall eingesetzt, in Spielzeugen und in der Raumfahrt. Man kann damit Lampen blinken lassen, Alarmanlagen aktivieren, Pausen zwischen Pieptöne setzen und diese Pieptöne selbst erzeugen.

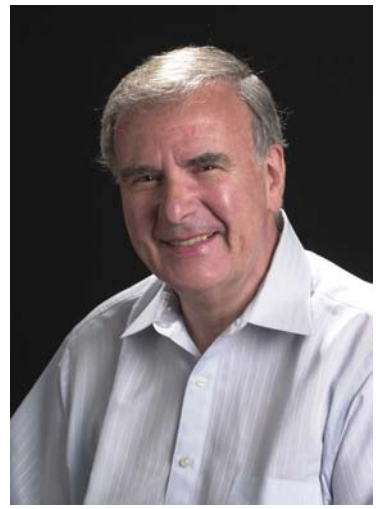


Abbildung 4-13. *Hans Camenzind, der Erfinder und Entwickler des 555-Timerchips für Signetics.*

Heute werden Chips von großen Teams entworfen und werden getestet, indem ihr Verhalten mit Computersoftware simuliert wird. Dadurch ermöglichen die Chips in Computern, mehr Chips zu entwerfen. Die Blütezeit von Einzelkonstrukteuren wie Hans Camenzind ist lange vorbei, aber sein Genie lebt in jedem 555-Timer, der in einer Chipfabrik hergestellt wird. (Mehr zur Geschichte der Chips findest du auf der (englischen) Seite *http://www.semiconductormuseum.com*.)

GRUNDLAGEN

Warum der 555 so nützlich ist

In seinem monostabilen Zustand (den du gerade gesehen hast) sendet der 555 einen einzelnen Impuls mit feststehender (aber einstellbarer) Länge. Kannst du dir dafür einige Anwendungen vorstellen? Es sollte in die Richtung gehen, mit dem Impuls des 555 ein anderes Bauteil anzusteuern. Ein Bewegungsmelder an einer Außenleuchte vielleicht. Wenn ein Infrarotsensor eine Bewegung »sieht«, geht das Licht für eine bestimmte Zeit lang an, die von einem 555 festgelegt werden kann.

Eine andere Anwendung könnte ein Toaster sein. Wenn jemand eine Scheibe Brot einlegt, schließt sich ein Schalter, der den Toastvorgang auslöst. Um die Länge des Vorgangs zu verändern, könntest du ein Potentiometer anstelle von R4 benutzen und es mit dem Reglerknopf verbinden, an dem man den Bräunungsgrad einstellt. Am Ende des Toastvorgangs könnte das Ausgangssignal vom 555 an einen Leistungstransistor übertragen werden, der einen Hubmagneten (wie ein Relais, aber ohne Schaltkontakte) aktiviert, um den Toast auszuwerfen.

Mit einem 555-Timer könnte man auch Intervall-Scheibenwischer ansteuern, was in Autos früher auch gemacht wurde.

Und was ist mit der Alarmanlage, die am Ende von Kapitel 3 beschrieben wurde? Eine Funktion, die ich aufgelistet hatte und die noch nicht umgesetzt wurde, war die, dass sie sich nach einer bestimmten Zeit selbst abschalten sollte. Wir können die Änderung am Ausgang eines 555-Timers dafür benutzen.

Das Experiment, das du eben ausprobiert hast, machte vielleicht einen unwichtigen Eindruck, aber in Wirklichkeit beinhaltet es eine Vielfalt von Möglichkeiten.

Grenzen des 555-Timers

1. Der Timer kann mit einer stabilen Versorgungsspannung zwischen 5 und 15 Volt betrieben werden.
2. Die meisten Hersteller empfehlen für den Widerstand an Pin 7 einen Wertebereich von 1 kΩ bis 1 MΩ.
3. Der Kondensatorwert kann so hoch sein, wie du möchtest, wenn du einen sehr langen Zeitbereich brauchst. Die Genauigkeit des Timers nimmt dabei aber ab.
4. Der Ausgang kann bis zu 100 mA bei 9 Volt liefern. Das reicht für ein kleines Relais oder einen Mini-Lautsprecher, wie du im nächsten Experiment sehen wirst.

Vorsicht, rotierende Pins!

In allen Schaltplänen in diesem Buch stelle ich die Chips so dar, wie sie von oben betrachtet aussehen, mit Pin 1 oben links. Das ist in anderen Schaltplänen, die du auf Websites oder in anderen Büchern findest, zum Teil anders. Um Schaltpläne leichter zeichnen zu können, vertauschen manche Leute die Zahlen der Pins so, dass Pin 1 nicht immer direkt neben Pin 2 ist.

Du kannst den Schaltplan in Abbildung 4-20 ansehen und ihn mit dem in Abbildung 4-15 vergleichen. Die Verbindungen sind identisch, aber im Schaltplan in Abbildung 4-20 sind die Pins so verteilt, dass die Verschaltung einfacher aussieht.

Die Pins an andere Stellen zu setzen, ist weit verbreitet, weil Software zum Schaltungsentwurf eben diesem Prinzip folgt. Bei größeren Chips ist es deshalb erforderlich, damit die Funktion der Schaltung erkennbar bleibt. (Also die Zusammenfassung der Pinnamen nach ihrer Funktion und nicht nach der Position, z.B. bei Speicherbausteinen.) Wenn du gerade erst lernst, Chips zu benutzen, ist es meiner Meinung nach einfacher, einen Schaltplan zu verstehen, der die Pins an ihren tatsächlichen Positionen zeigt. Also werde ich es hier auch so machen.

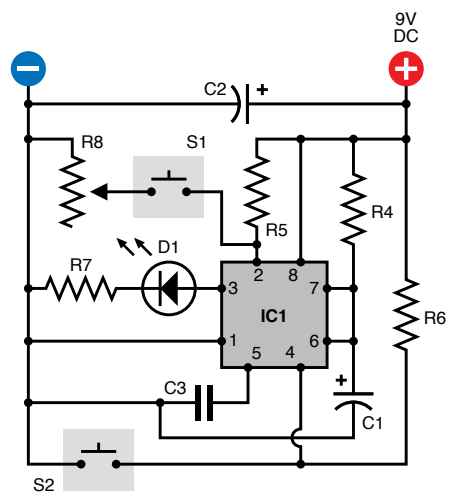


Abbildung 4-20. *Viele Menschen zeichnen Schaltpläne, in denen die Nummern der Pins anders verteilt sind, um so den Plan kleiner oder einfacher zu halten. Das ist nicht hilfreich, wenn man versucht, die Schaltung nachzubauen. Der Schaltplan hier gehört zu derselben Schaltung wie der in Abbildung 4-15. Diese Version ist schwieriger auf einem Steckbrett nachzubauen.*

Experiment 17: Selbst erzeugte Töne

Ich werde dir jetzt zwei weitere Möglichkeiten zeigen, wie man den 555-Timer einsetzen kann.

Du brauchst dieselben Teile wie in Experiment 16 und zusätzlich:

- Einen weiteren 555-Timerchip. Anzahl: 1.
- Kleinlautsprecher. Anzahl: 1.
- 100-kΩ-Potentiometer, linear. Anzahl: 1.

Ablauf

Lasse alle Bauteile aus Experiment 16 auf dem Steckboard und baue den nächsten Abschnitt darunter auf, wie in den Abbildungen 4-21 und 4-22 gezeigt. Der Widerstand R2 wird zwischen die Pins 6 und 7 gesteckt und ersetzt die Drahtbrücke, die die Pins in der vorherigen Schaltung verbunden hatte. Es gibt auch keinen externen Input an Pin 2 mehr. Stattdessen wird Pin 2 mit einer Drahtbrücke mit Pin 6 verbunden. Das geht am einfachsten, wenn du den Draht quer über den Chip führst.

Ich habe den Glättkondensator aus dem Schaltplan in Abbildung 4-22 weggelassen, weil ich jetzt davon ausgehe, dass du diese Schaltung auf demselben Steckbrett wie die erste Schaltung aufbaust, auf der der Kondensator immer noch steckt.

Anstelle der LED wurde ein Lautsprecher in Reihe mit einem 100-Ω-Widerstand (R3) eingesetzt, um den Output des Chips auszugeben. Der Reset-Pin, Pin 4, wurde stillgelegt, indem er mit dem Pluspol der Stromversorgung verbunden wurde, weil ich in dieser Schaltung die Reset-Funktion nicht brauchen werde.

Was passiert also, wenn du den Strom einschaltest? Du solltest sofort ein Signal aus dem Lautsprecher hören. Wenn alles stumm bleibt, hast du garantiert etwas falsch verbunden.

Dir fällt sicher auf, dass du den Chip nicht mehr mit einem Taster triggern musst. Der Grund hierfür ist der, dass sich C1 auflädt und entlädt und dabei die schwankende Spannung mit einem Draht über den Chip mit Pin 2, dem Trigger, verbunden ist. Auf diese Weise triggert sich der 555-Timer jetzt selbst. Ich beschreibe das ausführlich im folgenden Abschnitt »Theorie: Ein Blick in den 555: Astabiler Modus«, wenn du genau wissen willst, was passiert.

In diesem Modus ist der Chip »astabil«, also nicht stabil, weil er endlos hin und her schaltet und einen Impuls nach dem anderen aussendet, solange Strom anliegt. Die Impulse sind so schnell, dass der Lautsprecher sie als Ton wiedergibt.

Genauer gesagt, mit den Kennwerten, die ich für R1, R2 und C1 festgelegt habe, gibt der 555-Chip ca. 1500 Impulse pro Sekunde ab. Anders gesagt, er erzeugt einen Ton mit 1,5 kHz.

Schau dir die Tabelle auf Seite 164 an, um herauszufinden, wie verschiedene Werte für R2 und C1 verschiedene Impulsfrequenzen im Chip erzeugen können, wenn er im astabilen Modus ist. Achte darauf, dass sich die Tabelle auf einen festen Wert von 1 kΩ für R1 bezieht!

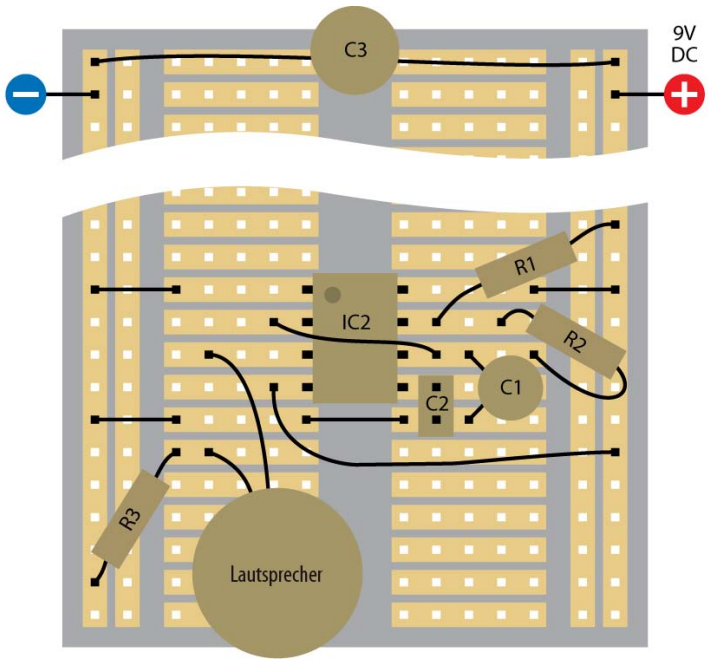


Abbildung 4-21. *Diese Bauteile sollten auf demselben Steckbrett unter den Bauteilen aus Abbildung 4-14 hinzugefügt werden. Benutze die folgenden Werte, um den 555-Timer im astabilen Modus zu testen:*

R1: 1 kΩ
R2: 10 kΩ
R3: 100 Ω
C1: 0,047 µF (Kerko oder Elko)
C2: 0,1 µF (Kerko)
IC2: 555-Timer

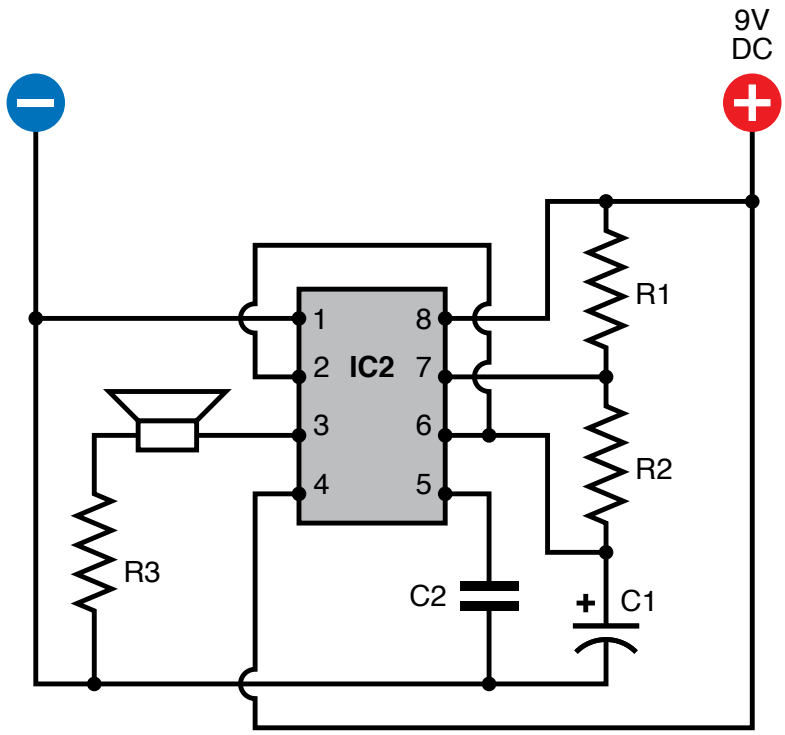


Abbildung 4-22. *Das ist der Schaltplan zum Aufbau aus Abbildung 4-21. Die Werte der Bauteile sind dieselben.*

THEORIE

Ein Blick in den 555: Astabiler Modus

In Abbildung 4-23 ist zu sehen, was hier jetzt passiert. Zu Beginn wird C1 vom Flip-Flop geerdet, so wie vorher auch. Aber diesmal ist der Low-Pegel am Kondensator durch einen externen Draht von Pin 7 mit Pin 2 verbunden. Der Low-Pegel bringt den Chip dazu, sich selbst zu triggern. Das Flip-Flop gehorcht und kippt in die »untere« Stellung und sendet einen positiven Impuls an den Lautsprecher. Dabei entfernt es die negative Spannung von Pin 7.

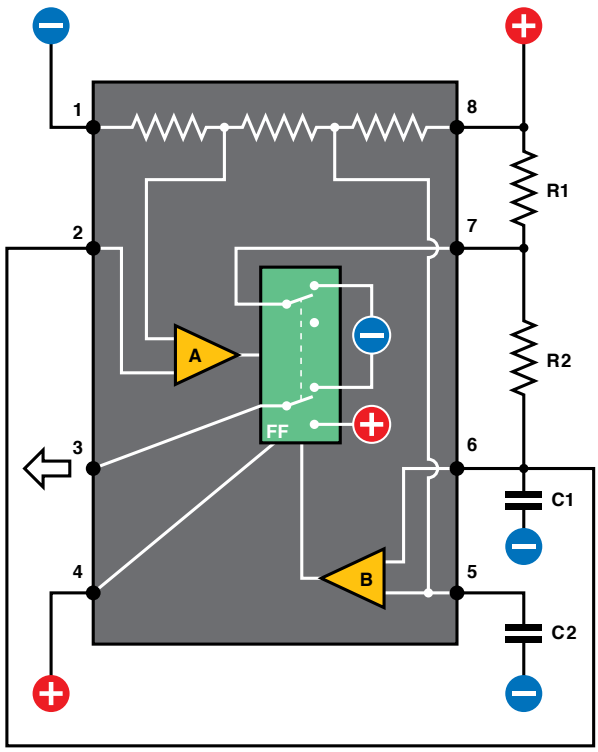


Abbildung 4-23. *Wenn der 555-Timer im astabilen Modus betrieben wird, verbindet der Widerstand R2 die Pins 6 und 7 und Pin 6 wird mit einem externen Draht mit Pin 2 verbunden, so dass der Timer sich selbst triggert.*

C1 beginnt zu laden, so wie es auch der Fall war, als der Timer im monostabilen Modus war, mit dem Unterschied, dass er durch R1 und R2 in Reihe geladen wird. Weil die Widerstände kleine Werte haben und C1 auch klein ist, lädt dieser sich schnell auf. Wenn die Spannung 2/3 der Versorgungsspannung erreicht, schreitet der Komparator B wie zuvor ein, entlädt den Kondensator und beendet den Ausgangsimpuls an Pin 3.

Der Kondensator entlädt sich langsamer als vorher, weil zwischen ihm und Pin 7, dem Entladungs-Pin, jetzt R2 liegt. Beim Entladen des Kondensators fällt seine Spannung ab, er ist aber immer noch mit Pin 2 verbunden. Wenn die Spannung unter 1/3 der Versorgungsspannung fällt, wird der Komparator A aktiv und schickt den nächsten Impuls zum Flip-Flop. Dadurch wird der gesamte Vorgang erneut ausgelöst.

Zusammengefasst:

1. Sobald im astabilen Modus der Strom eingeschaltet wird, zieht das Flip-Flop die Spannung an Pin 2 herunter, löst Komparator A aus, der das Flip-Flop in seine »untere« Stellung kippt.
2. Pin 3, der Ausgang, wird auf »high« gesetzt. Der Kondensator lädt durch R1 und R2 in Reihe.
3. Wenn der Kondensator 2/3 der Versorgungsspannung erreicht, kippt das Flip-Flop in die »obere« Stellung und der Ausgang an Pin 3 fällt auf »low«. Der Kondensator beginnt dann, sich durch R2 zu entladen.
4. Wenn die Ladung des Kondensators unter 1/3 der Versorgungsspannung fällt, kippt das Flip-Flop durch den Komparator an Pin 2 wieder und der Kreislauf beginnt erneut.

Ungleich lange Impulse und Pausen

Wenn der Timer im astabilen Modus läuft, wird C1 durch R1 und R2 in Reihe aufgeladen. Aber sobald sich C1 entlädt, fließt die Spannung nur durch R2. Das bedeutet, dass der Kondensator langsamer aufgeladen wird, als er sich entlädt. Während er aufgeladen wird, ist der Ausgang an Pin 3 »high«; wenn er sich entlädt, ist der Ausgang an Pin 3 »low«. Daraus folgt, dass die Impulsdauer immer länger als die Impulspause ist. Abbildung 4-24 zeigt dies in einem einfachen Diagramm.

Wenn du willst, dass Impuls und Pause gleich lang sind oder wenn du sie unabhängig voneinander einstellen willst (z.B. um einen sehr kurzen Impuls an einen anderen Chip zu senden, auf den eine längere Pause bis zum nächsten Impuls folgt), musst du nur eine Diode hinzufügen, wie in Abbildung 4-25 zu sehen.

Wenn C1 dann aufgeladen wird, fließt der Strom wie zuvor durch R1, aber nimmt eine Abkürzung um R2 herum, durch die Diode D1. Wenn C1 sich entlädt, blockiert die Diode den Stromfluss in dieser Richtung, so dass die Entladung durch R2 erfolgt.

THEORIE

Ein Blick in den 555: Astabiler Modus (Fortsetzung)

R1 regelt die Ladezeit jetzt alleine. R2 regelt die Entladezeit. Die Formel, mit der die Frequenz berechnet wird, lautet jetzt:

Frequenz = 1440 / ((R1 + R2) × C1)

Wenn du R1 gleich R2 nimmst, sollten Impuls und Pause fast gleich sein (»fast«, weil die Diode selbst für einen kleinen Spannungsabfall von ca. 0,6 V sorgt). Der genaue Wert hängt vor allem vom Fertigungsprozess der Diode ab.

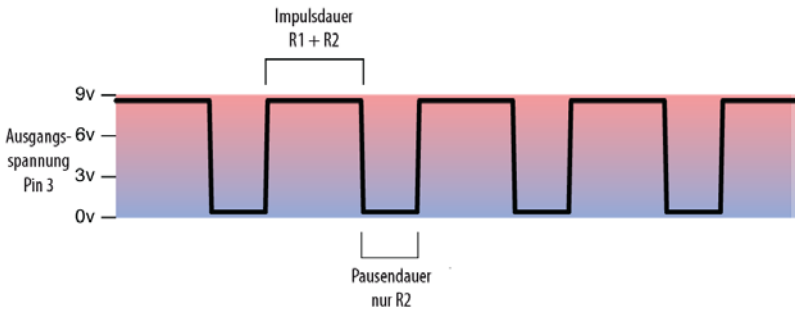


Abbildung 4-24. *In der normalen astabilen Konfiguration lädt der Timer einen Kondensator durch R1+R2 und entlädt den Kondensator nur durch R2. Daher sind die Impulse länger als die Pausen zwischen den Impulsen.*

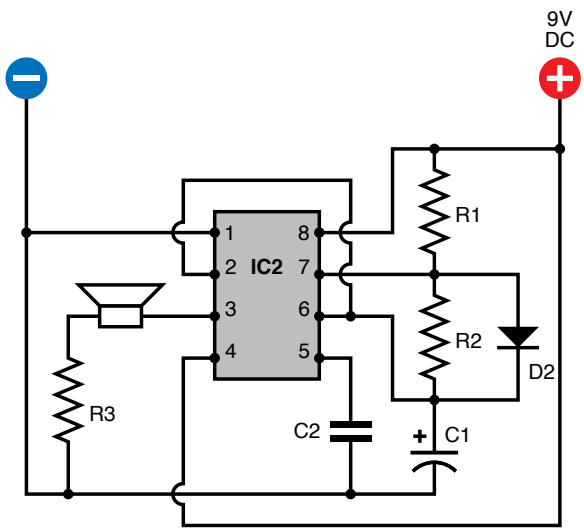


Abbildung 4-25. *Dies ist eine Abwandlung des Schaltplans aus Abbildung 4-22. Indem wir eine Diode hinzufügen, wird der Kondensator C1 nicht mehr durch R2 geladen. Jetzt können wir die Impulsdauer mit dem Wert von R1 und die Impulspause mit dem Wert von R2 einstellen, so dass die Ein- und Ausschaltdauer voneinander unabhängig sind.*

GRUNDLAGEN

Die folgende Tabelle zeigt die Frequenz des 555-Timers im astabilen Modus:

- Die Frequenz ist in Impulsen pro Sekunde angegeben und auf zwei Nachkommastellen gerundet.
- Die horizontale Skala enthält übliche Widerstandswerte für R2.
- Die vertikale Skala enthält übliche Kondensatorwerte für C1.
- Der Widerstand R1 ist auf 1 kΩ festgelegt.

Um eine andere Frequenz zu berechnen, verdoppele R2, addiere das Produkt zu R1, multipliziere die Summe zu C1 und teile 1440 durch das Resultat. Hier die Formel:

Frequenz = 1440 / ((R1 + 2R2) × C1) Schwingungen pro Sekunde

In dieser Formel sind R1 und R1 in Kiloohm, C1 in Mikrofarad und die Frequenz in Hertz (Schwingungen pro Sekunde) angegeben. Achte darauf, dass die Frequenz die Zeit vom Beginn eines Impulses bis zum Beginn des nächsten ist. Die Länge der Impulsdauer ist nicht identisch mit der Länge der Impulspause. Das wird im vorherigen Abschnitt erklärt.

47 µF	10	5,7	3,0	1,5	0,7	0,3	0,2	0,1		
22 µF	22	12	6,3	3,1	1,5	0,7	0,3	0,2	0,1	
10 µF	48	27	14	6,9	3,2	1,5	0,7	0,3	0,2	0,1
4,7 µF	100	57	30	15	6,8	3,2	1,5	0,7	0,3	0,2
2,2 µF	220	120	63	31	15	6,9	3,3	1,5	0,7	0,3
1,0 µF	480	270	140	69	32	15	7,2	3,3	1,5	0,7
0,47 µF	1,000	570	300	150	68	32	15	7	3,3	1,5
0,22 µF	2,200	1,200	630	310	150	69	33	15	7	3,3
0,1 µF	4,800	2,700	1,400	690	320	150	72	33	15	7,2
0,047 µF	10,000	5,700	3,000	1,500	680	320	150	70	33	15
0,022 µF	22,000	12,000	6,300	3,100	1,500	690	330	150	70	33
0,01 µF	48,000	27,000	14,000	6,900	3,200	1,500	720	330	150	72
	1 kΩ	2,2 kΩ	4,7 kΩ	10 kΩ	22 kΩ	47 kΩ	100 kΩ	220 kΩ	470 kΩ	1 MΩ

Astabile Abwandlungen

Wenn du in den Schaltungen aus Abbildungen 4-22 oder 4-25 ein R2 durch ein 100-kΩ-Potentiometer ersetzt, kannst du die Frequenz einstellen, indem du an diesem drehst.

Eine andere Möglichkeit ist, den Timer über den Pin 5 (Kontrollspannung) zu »stimmen«, wie du in Abbildung 4-26 siehst. Entferne den Kondensator, der an dem Pin angeschlossen war, und setze dafür die Reihe von abgebildeten Widerständen ein. R9 und R11 sind zwei Widerstände mit 1 kΩ. Zwischen ihnen befindet sich R10, ein Potentiometer mit 100 kΩ. Die Widerstände stellen sicher, dass zwischen Pin 5 und dem Plus- und Minuspole immer mindestens ein Widerstand von 1 kΩ anliegt. Wenn du die Stromversorgung direkt anschließt, wird der Timer nicht beschädigt, kann aber auch keine hörbaren Tonsignale

erzeugen. Wenn du das Potentiometer hin und her drehst, ändert sich die Frequenz über einen weiten Bereich. Wenn du eine ganz bestimmte Frequenz erzeugen willst, kann stattdessen ein Trimmpoti benutzt werden.

Der wichtigste Vorteil, die Frequenz über Pin 5 einzustellen, besteht in der Möglichkeit der Fernsteuerung. Nimm den Output von Pin 3 eines weiteren 555-Timers, der langsam im astabilen Modus läuft, und leite ihn durch einen 2,2-kΩ-Widerstand in Pin 5. Jetzt hast du eine Sirene mit zwei Tonhöhen, weil ein Timer den anderen kontrolliert. Wenn du zusätzlich noch einen Kondensator mit 100 µF zwischen Pin 5 und Masse hinzufügst, sorgt der Lade- und Entladevorgang des Kondensators dafür, dass die Tonhöhe sich nicht abrupt ändert, sondern hin- und hergleitet. Das bringt mich zu dem Thema, wie man einen Chip mit einem anderen kontrolliert, was die letzte Variante dieses Experiments darstellt.

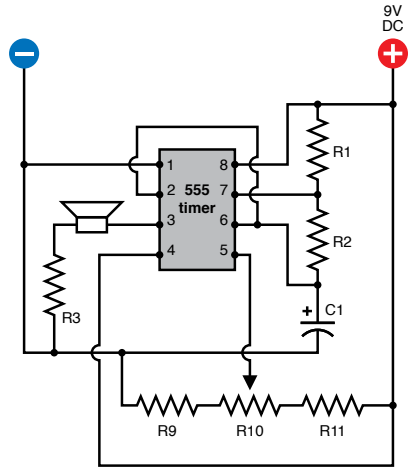


Abbildung 4-26. *Pin 5 (Steuerspannung) wird selten genutzt, kann aber sinnvoll sein. Wenn man die dort anliegende Spannung verändert, kann man die Geschwindigkeit des Timers einstellen. Mit dieser Schaltung kannst du das Verhalten testen. Bauteilwerte:*

R1: 1 kΩ
R2: 10 kΩ
R3: 100 Ω
R9, R11: 1 kΩ
R10: 100-kΩ-Potentiometer, linear
C1: 0,047 µF

Chips miteinander verbinden

Ganz allgemein sind Chips so gebaut, dass sie miteinander kommunizieren können. Der 555 könnte in dieser Hinsicht nicht einfacher sein:

- Der Output eines 555, Pin 3, kann direkt mit dem Trigger, Pin 2, eines zweiten 555 verbunden werden.
- Alternativ kann der Output ausreichen, um einen zweiten 555 über dessen Pin 8 mit Strom zu versorgen.
- Der Output ist auch dafür geeignet, andere Chips zu steuern oder mit Strom zu versorgen.

Abbildung 4-27 zeigt diese Möglichkeiten.

Wenn am Output des ersten 555-Chips ein High-Pegel anliegt, dann beträgt dieser ungefähr 70 bis 80 Prozent der Versorgungsspannung. Anders gesagt, wenn du 9 Volt einspeist, liegt die Ausgangsspannung bei mindestens 6 Volt. Dies liegt immer noch über dem Minimum von 5 Volt, die der zweite Chip braucht, um seinen Komparator auszulösen, also kein Problem.

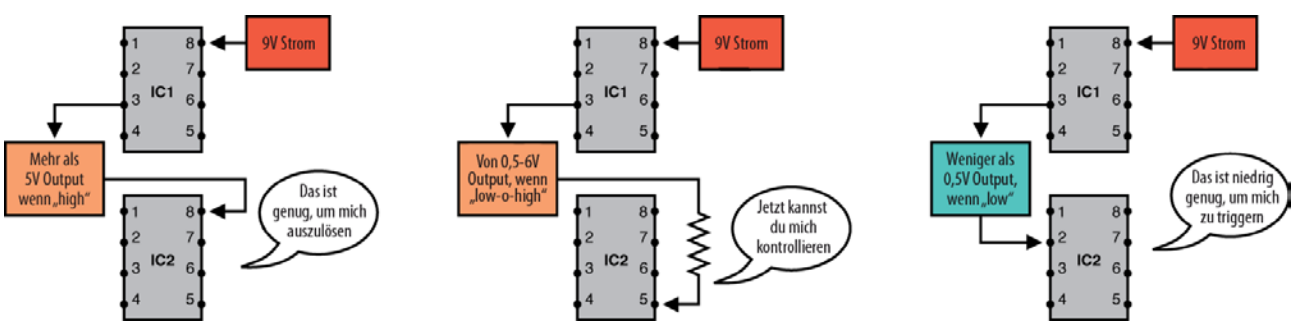


Abbildung 4-27. *Drei Möglichkeiten, 555-Timer zu verbinden. Der Ausgang von IC1 kann einen zweiten Timer versorgen, seine Steuerspannung einstellen oder seinen Triggerpin aktivieren.*

Du kannst die zwei 555-Timer verbinden, die du schon auf deinem Steckbrett hast. Abbildung 4-28 zeigt, wie du die zwei Schaltungen aus den Abbildungen 4-15 und 4-22 verbindest. Stecke einen Draht von Pin 3 (Output) des ersten

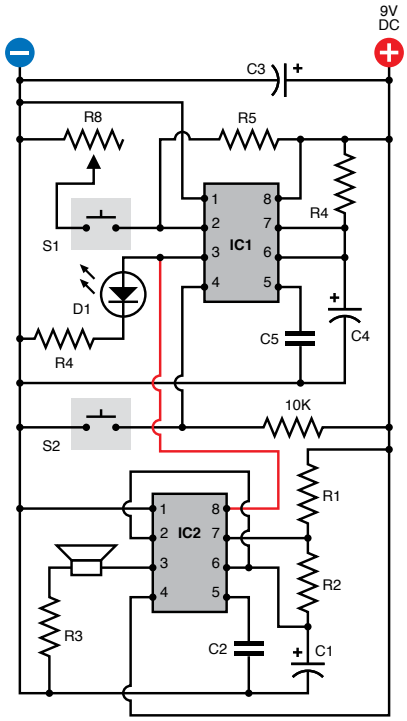


Abbildung 4-28. *Du kannst die zwei Schaltungen aus den Abbildungen 4-15 und 4-22 verbinden, indem du den Draht aussteckst, der Strom an Pin 8 des zweiten Timers führt, und eine andere Verbindung (rot eingezeichnet) herstellst.*

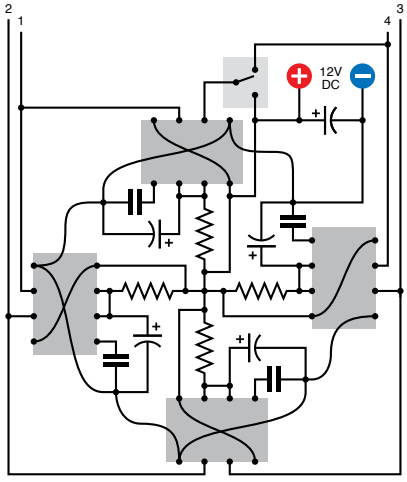


Abbildung 4-29. *Vier 555-Timer, die im Kreis miteinander verbunden sind, können eine Reihe von vier LED-Gruppen nacheinander blinken lassen, wie eine Lichterkette oder eine Kinodekoration.*

Chips an Pin 8 (positive Spannung) des zweiten Chips und entferne den vorhandenen Draht, der Pin 8 mit der Stromversorgung verbindet. Der neue Draht ist rot dargestellt. Wenn du jetzt den Taster drückst, um den ersten Chip zu aktivieren, versorgt der Output den zweiten Chip mit Strom.

Du kannst den Output eines Chips auch benutzen, um einen anderen Chip zu triggern, d.h. du kannst Pin 3 des ersten Chips mit Pin 2 des zweiten verbinden. Wenn der Ausgang des ersten Chips einen Low-Pegel hat, liegt er unter einem halben Volt. Das ist weit unter dem Grenzwert, den man braucht, um den zweiten Chip zu aktivieren. Wozu wäre das dann gut? Na ja, vielleicht willst du beide Timer im monostabilen Modus betreiben, so dass das Ende eines high-Impulses vom ersten Chip den Anfang eines high-Impulses des zweiten Chips auslöst. Auf diese Weise könntest du sogar so viele Timer hinter einander hängen, wie du willst. Wenn der letzte wider den ersten Chip auslöst, kann man damit eine Reihe von LEDs wie eine Lichterkette blinken lassen. Abbildung 4-29 zeigt, wie man vier Timer so verbinden könnte, dass sie auf kleinstmöglichem Raum Platz finden (und auf einer normalen Lochrasterplatine direkt verlötet werden könnten). Jeder der mit 1 bis 4 bezeichneten Ausgänge hätte genug Leistung, um ca. 10 LEDs einzuschalten, wenn du relativ hohe Vorwiderstände benutzen würdest, um den Strom zu begrenzen.

Übrigens kannst du die Anzahl der Chips reduzieren, indem du anstelle von vier 555-Timern zwei 556-Timer benutzt. Der 556 enthält zwei 555 in einem Gehäuse. Weil du dafür aber genauso viele externe Verbindungen herstellen musst wie beim 555 (mit Ausnahme der Stromversorgung), habe ich diese Variante außen vor gelassen.

Du kannst sogar einen 558-Timer kaufen, der vier 555-Schaltungen enthält, die dafür vorgesehen sind, im astabilen Modus zu laufen. Ich habe mich dagegen entschieden, diesen Chip zu benutzen, weil sein Output sich anders verhält als bei einem normalen 555-Timer. Du kannst dir aber einen 558 kaufen und ihn ausprobieren, wenn du willst. Er ist ideal für die Verkettung von vier Timern, wie ich sie vorgeschlagen habe. Sogar das Datenblatt weist direkt darauf hin.

Zu guter Letzt kommen wir noch einmal auf die Idee zurück, die Frequenz eines 555-Timers im astabilen Modus zu verändern. Dazu kannst du zwei Timer so verbinden, wie in Abbildung 4-30 zu sehen. Der rote Draht zeigt die Verbindung vom Output-Pin des ersten Timers zum Control-Pin des zweiten. Der erste Timer wurde so verkabelt, dass er im astabilen Modus läuft und etwa viermal pro Sekunde ein oszillierendes An/Aus-Signal abgibt. Dieses Signal lässt die LED blinken, damit du auch sehen kannst, was passiert, und wird durch R7 an den Control-Pin des zweiten Timers geleitet.

C2 ist aber ein großer Kondensator, also dauert es länger, ihn durch R7 zu laden. Während das passiert, steigt die Spannung an Pin 5 langsam an, so dass die Tonhöhe des vom IC2 erzeugten Tons immer höher wird. Dann erreicht IC1 das Ende seines Durchlaufs und schaltet sich aus, wodurch sich C2 entlädt und die Tonhöhe des Tons aus IC2 wieder fällt.

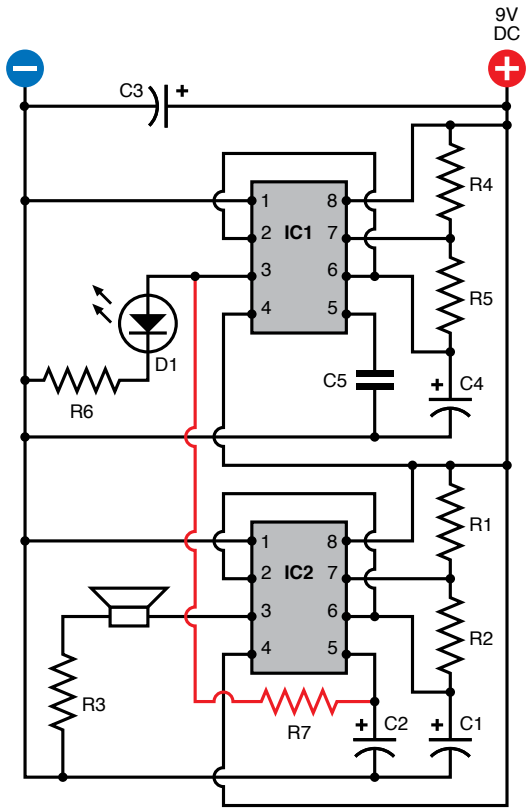


Abbildung 4-30. *Wenn beide Timer astabil sind, aber IC1 viel langsamer als IC2 läuft, kann der Ausgang von IC1 dazu benutzt werden, den Ton zu modulieren, den IC2 erzeugt. Beachte, dass das eine deutliche Veränderung gegenüber den vorherigen Schaltungen ist und mehrere Bauteile anders bezeichnet werden. Um Fehler zu vermeiden, musst du vielleicht die alte Schaltung vom Steckbrett nehmen und diese hier neu aufbauen. Versuche es mit diesen Anfangswerten:*

R1, R4, R6, R7: 1 kΩ
R2, R5: 10 kΩ
R3: 100 Ω
C1: 0,047 µF
C2, C3: 100 µF
C4: 68 µF
C5: 0,1 µF

Du kannst diese Schaltung verändern, um damit alle möglichen Klänge zu erzeugen und viel genauer zu steuern, als es mit PUT-Transistoren möglich war. Du kannst folgende Dinge ausprobieren:

- Verdopple oder halbiere den Wert von C2.
- Lasse C2 ganz weg und experimentiere mit dem Wert von R7.
- Ersetze R7 durch ein Potentiometer mit 10 kΩ.
- Ersetze C4, um die Laufzeit von IC1 zu verlängern oder zu verkürzen.
- Halbiere den Wert von R5 und verdopple gleichzeitig den Wert von C4, so dass die Laufzeit von IC1 gleich bleibt, aber die Einschaltdauer wesentlich länger als die Ausschaltdauer wird.
- Verändere die Versorgungsspannung der Schaltung von 9 Volt auf 6 oder 12 Volt.

Mit diesen Veränderungen kannst du einen 555-Timer nicht beschädigen. Achte nur darauf, dass der Minuspol deines Netzteils immer an Pin 1 liegt und der Pluspol immer an Pin 8.

Experiment 18: Reaktions-Timer

Weil der 555 problemlos mit Tausenden von Zyklen pro Sekunde laufen kann, können wir damit die menschliche Reaktionszeit messen. Du kannst gegen deine Freunde antreten, um herauszufinden, wer die schnellste Reaktion hat, und feststellen, wie sich deine Reaktionszeit in Abhängigkeit von deiner Laune, der Tageszeit oder der Tatsache, wie viel Schlaf du in der letzten Nacht hattest, verändert.

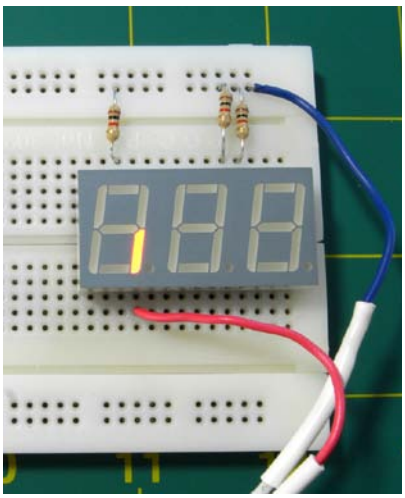


Abbildung 4-31. *Nachdem du einen Widerstand mit 1 kΩ zwischen die gemeinsame Kathode des Displays und den Minuspol gesteckt hast, kannst du mit dem Pluspol jedes Segment einzeln aufleuchten lassen.*

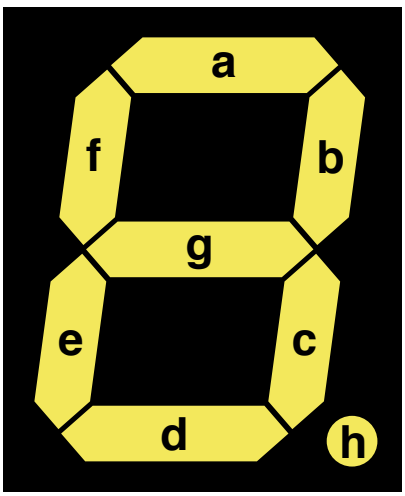


Abbildung 4-32. *Die einfachsten und am meisten verwendeten Digitalziffern bestehen aus sieben LED-Segmenten, die mit Buchstaben bezeichnet werden, wie hier abgebildet, sowie einem optionalen Dezimalpunkt.*

Bevor wir weitermachen, muss ich dich warnen, dass diese Schaltung mehr Verbindungen hat als das, was wir bisher gemacht haben. Sie ist nicht schwieriger zu verstehen, hat aber eine aufwendige Verdrahtung und passt gerade noch auf ein Steckbrett mit 63 Zeilen. Wir bauen sie aber dennoch in mehreren Phasen nacheinander auf, was dir dabei helfen sollte, mögliche Verbindungsfehler zu finden.

Das brauchst du:

- 4026-Chip. Anzahl: 4 (du brauchst eigentlich nur drei, aber besorge dir einen Chip als Ersatz, falls du einen beschädigst).
- 555-Timer. Anzahl: 3.
- Drucktaster (einpolig). Anzahl: 3.
- Drei Sieben-Segment-LEDs oder ein Display mit drei Ziffern (siehe dazu die Einkaufsliste am Anfang des Kapitels). Anzahl: 1.
- Wie immer: Steckbrett, Widerstände, Kondensatoren und Multimeter.

Schritt 1: Das Display

Du kannst für dieses Projekt drei einzelne LED-Ziffern benutzen, aber ich schlage vor, dass du das Modul BC56-11EWA von Kingbright besorgst, das am Anfang des Kapitels auf dem Einkaufszettel steht. Es fasst drei Ziffern in einem Gehäuse zusammen.

Auf deinem Steckbrett sitzt das Modul so, dass die Anschlüsse oberhalb und unterhalb der Rille in der Mitte eingesteckt werden. Stecke es ganz am Ende des Bretts ein, wie in Abbildung 4-31 zu sehen. Stecke noch keine anderen Bauteile auf das Steckbrett.

Stelle dein Netzteil auf 9 Volt und verbinde den Minuspol mit der Lochreihe auf der rechten Seite des Steckbretts. Stecke drei Widerstände mit je 1 kΩ zwischen den Minuspol und die Pins 18, 19 und 26 des Kingbright-Displays, die die »gemeinsame Kathode« also den gemeinsamen Minuspol jeder Ziffer im Display darstellen. (Die Nummern der Pins des Chips sind in Abbildung 4-33 zu sehen. Wenn du ein anderes Display verwendest, musst du im Datenblatt nachsehen, welche Pins negative Spannung erhalten.)

Schalte das Netzteil an und berühre mit dem Ende des positiven Drahts jede Lochreihe auf beiden Seiten des Displays, die mit einer LED verbunden ist. Dabei sollte jedes Segment aufleuchten, wie man in Abbildung 4-31 sieht.

Jede Ziffer von 0 bis 9 wird durch eine Gruppe dieser Segmente repräsentiert. Diese Segmente werden immer mit den Kleinbuchstaben *a* bis *g* bezeichnet, wie in

Abbildung 4-32 zu sehen. Oft gibt es auch noch einen Dezimalpunkt, den wir zwar nicht benutzen werden, den ich aber mit dem Buchstaben *h* bezeichnet habe.

In Abbildung 4-33 siehst du das Kingbright-Display. Ich habe jeden Pin mit seiner Funktion beschriftet. Du kannst das ganze Display mit dem positiven Draht deines Netzteils durchgehen, um sicherzustellen, dass jeder Pin das dazugehörige Segment aufleuchten lässt.

Dieses Display hat zwei Pins mit den Nummern 3 und 26, die beide zum Minuspol der ersten Ziffer führen. Warum zwei Pins anstelle von nur einem? Ich weiß es nicht. Du musst nur einen der beiden benutzen. Weil es ein passiver Chip ist, kannst du den unbenutzten Pin auch unverbunden lassen. Achte nur darauf, dass du keine positive Spannung anlegst, was einen Kurzschluss verursachen würde.

Ein numerisches Display hat selbst keinen Strom und keine Intelligenz. Es ist nur ein Teil mir mehreren LEDs. Wir können damit auch nicht wirklich viel anfangen, bis wir herausfinden, wie man die LEDs in sinnvollen Gruppen einschaltet. Das machen wir im nächsten Schritt.

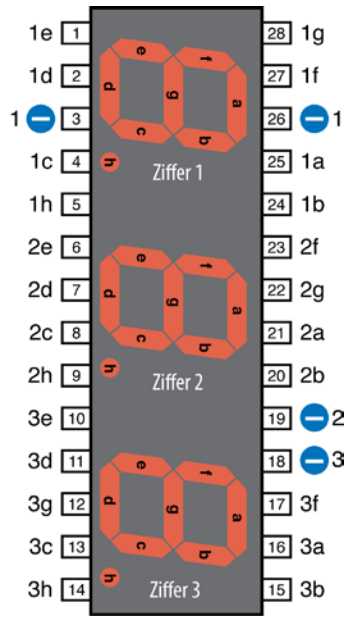


Abbildung 4-33. *Dieses Teil von Kingbright fasst drei Sieben-Segment-Anzeigen in einem Gehäuse zusammen und kann mit drei hintereinander geschalteten 4026-Dekadenzählern angesteuert werden. Die Pinnummern stehen direkt am Chip. Die Segmente a bis g der Ziffer 1 sind mit 1a bis 1g bezeichnet. Die Segmente a bis g der Ziffer 2 sind mit 2a bis 2g bezeichnet. Die Segmente a bis g der Ziffer 1 sind mit 3a bis 3g bezeichnet.*

Schritt 2: Zählen

Zum Glück haben wir einen Chip, 4026 genannt, der Impulse empfängt, sie zählt und Signale ausgibt, mit denen ein Siebensegment-Display so angesteuert wird, dass die Zahlen 0 bis 9 angezeigt werden. Das einzige Problem besteht darin, dass es sich um einen altmodischem CMOS-Chip handelt (»Complementary Metal Oxide Semiconductor«, dt. »komplementärer Metall-Oxid-Halbleiter«), der empfindlich auf statische Aufladung reagiert. Lies die Warnung auf Seite 170, bevor zu weitermachst.

Schalte dein Netzteil ab und verbinde die Drähte mit dem oberen Ende des Steckbretts. Beachte dabei, dass wir für dieses Experiment auf beiden Seiten jeweils Plus- und Minuspol brauchen. Details dazu findest du in Abbildung 4-34. Wenn auf deinem Steckbrett die Spalten nicht farblich gekennzeichnet sind, empfehle ich dir, sie mit einem Marker selbst zu kennzeichnen, damit du keine Verpolungsfehler machst und deine Bauteile nicht durchbrennen.

Der Zählerchip 4026 hat kaum genug Leistung, um die LEDs in unserem Display anzusteuern, wenn er mit 9 Volt betrieben wird. Achte darauf, dass du den Chip richtig herum in das Steckbrett einsetzt, nämlich direkt über dem Zifferndisplay, mit nur einer freien Reihe von Löchern dazwischen.

Der Schaltplan in Abbildung 4-35 gibt an, wie die Pins des 4026-Chip verbunden werden sollten. Die Pfeile sagen dir, welche Pins des Displays mit den Pins des Zählers verbunden werden sollten.

Abbildung 4-36 zeigt die »Pinouts« (d.h. die Belegung der einzelnen Pins) eines 4026-Chips. Vergleiche diese mit dem Schaltplan in Abbildung 4-35.

Setze zwischen dem Pluspol und Pin 1 des 4026-Zählers einen Drucktaster ein, mit einem 10-kΩ-Widerstand, um den Eingang des 4026 negativ zu halten, bis du den Taster drückst. Vergewissere dich, dass alle deine positiven und negativen Anschlüsse korrekt sind und schalte den Strom ein. Wenn du jetzt leicht auf den Taster drückst, sollte der Zähler auf dem Display die Zahlen von 0 bis 9 anzeigen

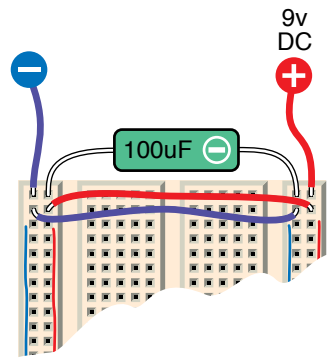
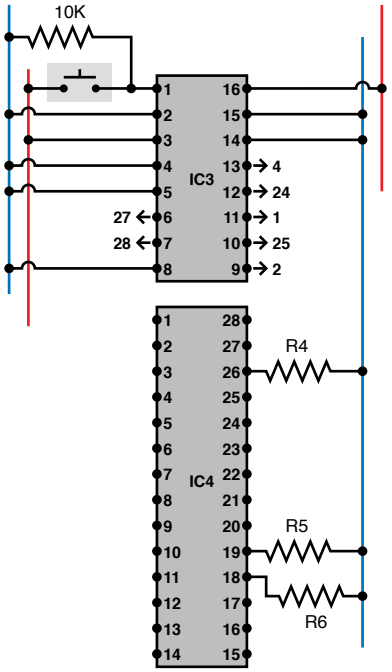


Abbildung 4-34. *Wenn du Schaltungen mit Chips baust, ist es sehr praktisch, Plus- und Minuspol der Stromversorgung an beiden Seiten des Steckbretts zu haben. Für die Reaktions-Timer-Schaltung kann eine 9-Volt-Quelle mit einem Glättkondensator von 100 µF so aufgebaut werden. Wenn auf deinem Steckbrett die Spalten mit den Löchern links und rechts nicht farblich markiert sind, solltest du das selbst mit einem Filzstift nachholen.*



und dann wieder bei 0 anfangen. Du bemerkst sicher auch, dass der Chip manchmal deine Tastendrücke missversteht und zwei oder sogar drei Ziffern auf einmal weiterspringt. Mit diesem Problem beschäftige ich mich später noch.

Abbildung 4-35. *IC3 ist ein 4026-Zähler. IC4 ist ein dreifacher Sieben-Segment-Display-Chip. Die Pfeile zeigen an, welche Pins des LED-Displays mit den Pins am Zähler verbunden werden sollen.*

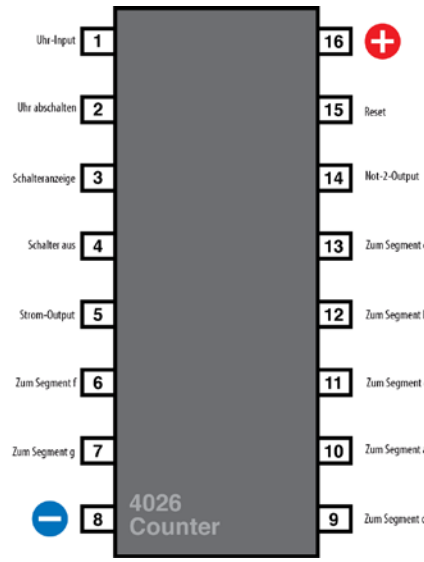


Abbildung 4-36. *Der 4026-Dekadenzähler ist ein CMOS-Chip, der Taktimpulse an Pin 1 empfängt, eine Summe von 0 bis 9 hochzählt und diese Summe an Pins ausgibt, die für die Verbindung mit einem Sieben-Segment-Display mit LED-Ziffern ausgelegt sind.*

Statische Aufladungen verhindern

Um die Frustration zu vermeiden, die sich einstellt, wenn du eine Schaltung einschaltest und nichts passiert, solltest du diese Vorsichtsmaßnahmen beachten, wenn du mit der älteren Generation von CMOS-Chips arbeitest (die oft Teilenummern von 4000 und aufwärts haben, also 4002, 4020 usw.):

Wenn man Chips kauft, stecken ihre Beinchen oft in schwarzem Schaumstoff. Dies ist elektrisch leitfähiger Schaumstoff, in dem du die Chips eingesteckt lassen solltest, bis du sie benutzt.

Wenn du die Chips in Kunststoffröhren bekommen hast, kannst du sie herausnehmen und ihre Beinchen in leitfähigen Schaumstoff stecken. Wenn dieser nicht zur Verfügung steht, nimm Alufolie. Es geht darum, dass kein Pin am Chip ein viel höheres elektrisches Potenzial als die anderen.

Wenn du mit CMOS-Bauteilen arbeitest, ist es sehr wichtig, geerdet zu sein. Bei trockenem Wetter lade ich mich schon statisch auf, wenn ich über eine Fußbodenschutzmatte aus Kunststoff laufe und Socken trage, die auch Synthetikfasern enthalten. Du kannst als Gegenmaßnahme ein Antistatik-Armband kaufen oder einfach ein großes Objekt aus Metall wie z.B. einen Aktenschrank berühren, bevor du deine Platine anfasst. Ich habe die Angewohnheit, während ich arbeite mit meinem Fuß (mit Socken) einen Aktenschrank zu berühren, was das Problem löst.

Löte niemals an einem CMOS-Chip, während er stromführend ist.

Es ist eine gute Idee, die Lötspitze zu erden.

Noch besser ist es, CMOS-Chips gar nicht erst zu löten. Wenn bereit bist, eine Schaltung vom Steckbrett auf eine Platine zu übertragen und dort zu verewigen, löte eine Fassung auf deine Platine, in die du den Chip steckst. Wenn es später ein Problem gibt, kannst du den Chip ausstecken und einen anderen einsetzen.

Benutze eine geerdete, leitfähige Arbeitsoberfläche auf deiner Werkbank. Am billigsten geht das mit einer Schicht Alufolie, die (über eine Krokodilklemme und ein Kabel) an einer Heizung, einem Wasserrohr oder einem großen Objekt aus Stahl geerdet ist. Auf meiner Werkbank liegt eine Lage leitfähigen Schaumstoff, genau derselbe, der auch für Chip-Verpackungen benutzt wird. Dieser Schaumstoff ist aber leider recht teuer.

GRUNDLAGEN

Zähler und Sieben-Segment-Anzeigen

Die meisten Zählbausteine nehmen eine fortlaufende Impulsfolge auf und verteilen sie nacheinander auf eine Reihe von Pins. Der 4026-Dekadenzähler ist ungewöhnlich, da an seinen Ausgangspins der Strom in einer Verteilung anliegt, die genau dafür bestimmt ist, die Segmente einer Sieben-Segment-Anzeige für Zahlen anzuschalten.

Einige Zähler erzeugen ein positives Ausgangssignal (sie sind also eine Stromquelle), andere haben ein negatives Ausgangssignal (sie sind eine Stromsenke). Einige Sieben-Segment-Anzeigen brauchen eine positive Spannung, um die Zahlen anzuzeigen. Sie haben eine »gemeinsame Kathode«. Andere brauchen eine negatives Eingangssignal und haben eine »gemeinsame Anode«. Der 4026 liefert eine positive Ausgangsspannung und erfordert ein Display mit gemeinsamer Kathode.

Du kannst in jedem Datenblatt eines Zähler-Chips nachsehen, wie viel Strom er benötigt und wie viel er liefern kann. CMOS-Chips sind eigentlich veraltet, eignen sich aber sehr gut für Amateure, weil sie einen größeren Bereich von Eingangsspannungen tolerieren, im Fall des 4026 von 5 bis 15 Volt. Andere Chiptypen sind da viel eingeschränkter.

Die meisten Zähler können nur einige wenige Milliampere Strom abgeben oder senken. Wenn der 4026 an einer Spannungsversorgung mit 9 Volt hängt, kann er an jedem Pin ungefähr 4 mA Strom liefern. Das reicht kaum aus, um ein Sieben-Segment-Display anzusteuern.

Du kannst zwischen jedem Ausgangspin des Counters und jedem Eingangspin des Zifferndisplays einen Vorwiderstand einsetzen, aber die einfachere und schnellere Methode besteht darin, nur einen Vorwiderstand pro Ziffer zu benutzen, jeweils zwischen der Kathode und dem Minuspol. Im Experiment, das ich beschreibe, benutzen wir diese Vereinfachung. Der Nachteil ist, dass die Ziffern, die nur wenige Segmente benötigen (wie die 1), heller leuchten als die, die viele Segmente benötigen (wie die 8).

Wenn du willst, dass dein Display hell und professionell aussieht, musst du tatsächlich einen Transistor benutzen, um jedes Segment jeder Ziffer anzusteuern. Alternativ kann man auch einen Chip mit mehreren »Op-Amps« benutzen, um den Strom zu verstärken.

Wenn ein Dekadenzähler die 9 erreicht und auf die 0 umspringt, gibt er einen Impuls an seinem »Carry«-Pin (Übertrag) ab. Damit kann ein anderer Zähler betrieben werden, der die Zehner zählt. Der Übertrags-Pin dieses Zählers kann mit einem dritten Zähler verbunden werden, der die Hunderter zählt usw. Außer Dekadenzählern gibt es noch Hexadezimalzähler (die im Sechzehnersystem zählen), Oktalzähler (Achtersystem) und viele andere.

Warum sollte man in einem anderen als dem Zehnersystem zählen wollen? Bedenke, dass die vier Stellen auf einer Digitaluhr alle unterschiedlich zählen. Die Ziffer ganz rechts fängt bei 10 wieder von vorne an. Die Ziffer links daneben zählt in Sechsen. Die erste Stundenziffer zählt zwei Mal bis 10, gibt danach je ein Übertragssignal ab und zählt dann bis 4 und gibt ein weiteres Übertragssignal ab. Die Ziffer ganz links ist entweder leer oder 1 oder 2. Selbstverständlich gibt es Zähler, die genau das alles können.

Zähler haben Steuerpins wie »clock disable« (Taktsperrung), der dafür sorgt, dass der Zähler die Eingangssignale ignoriert und die Anzeige beibehält, »enable display« (Anzeigefreigabe), der den Chipausgang einschaltet, und »Reset«, der den Zähler auf Null zurücksetzt.

Der 4026 braucht einen positiven Pegel, um jeden Steuerpin zu aktivieren. Wenn die Pins auf Masse liegen, ist die Funktion deaktiviert. Damit der 4026 zählt und das Ergebnis darstellt, musst du die Pins »clock disable« und »Reset« auf Masse legen (um ihre Funktion zu unterdrücken) und den »enable Display«-Pin an den Pluspol legen (um den Ausgang zu aktivieren). In Abbildung 4-36 kannst du sehen, welche Pins das sind.

Die LED-Segmente werden nicht sehr hell leuchten, weil der Vorwiderstand von 1 kΩ entsprechend wenig Strom durchlässt. Diese Widerstände sind da, damit der Output des Zählers nicht überladen wird.

Vorausgesetzt, du hast mit deinem Zähler erfolgreich das Zifferndisplay angesteuert, bist du jetzt bereit, noch zwei Zähler hinzuzufügen, die die anderen beiden Ziffern ansteuern. Der erste Zähler zählt die Einser, der zweite die Zehner und der dritte die Hunderter.

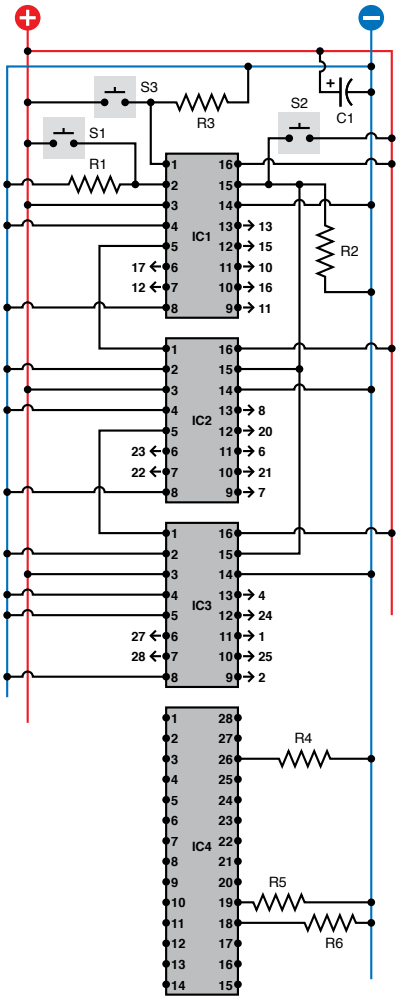


Abbildung 4-37. *Mit dieser Testschaltung, die so gezeichnet ist, wie du sie auch auf einem Steckbrett platzieren würdest, kannst du einen Zähler manuell auslösen, um zu testen, dass das Display von 000 bis 999 zählt.*

Bauteilwerte:
Alle Widerstände sind 1 kΩ.
S1, S2, S3: Einpolige Drucktaster, Schließer
IC1, IC2, IC3: 4026-Dekadenzähler-Chips
IC4: Display mit 3 Stellen und gemeinsamer Kathode von Kingbright
C1: Glättkondensator mit 100 µF (Minimum)

Verdrahte die Ausgangspins von IC1, IC1 und IC3 mit den Pins von IC4, die an den Pfeilen angegeben sind. Die tatsächlichen Verbindungen sind aus Gründen der Lesbarkeit nicht eingezeichnet.

In Abbildung 4-37 habe ich wieder Pfeile und Zahlen benutzt, damit du weißt, welche Pins der Zähler an welche Pins des Displays gehören. Ansonsten wäre der Schaltplan ein verwirrendes Durcheinander von sich überkreuzenden Drähten.

Du kannst an dieser Stelle angesichts der Menge an Drahtbrücken aufgeben, aber ehrlich: Mit einem Steckbrett solltest du nicht länger als eine halbe Stunde brauchen, um diesen Abschnitt des Projekts abzuschließen. Ich finde, du solltest es ausprobieren, weil es etwas Magisches hat, wenn das Display ganz von selbst von 000 bis 999 zählt. Ich habe mir dieses Projekt auch ausgesucht, weil der Lerneffekt sehr hoch ist.

S1 ist am Pin für »clock disable« (Taktsperrung) des IC1 angeschlossen. Wenn du diesen Taster gedrückt hältst, sollte der Zähler also nicht weiter zählen. Weil IC1 IC2 ansteuert und IC2 IC3 ansteuert, müssen die anderen warten, wenn du IC1 anhältst. Daher muss bei ihnen »clock disable« nicht angeschlossen werden.

S2 ist mit den Pins für »Reset« (Rückstellung) aller drei Zähler verbunden. Wenn du auf diesen Taster drückst, sollten alle auf Null springen.

S3 sendet bei manueller Bestätigung positive Impulse an den Pin für »clock input« (Takteingang) des ersten Zählers.

S1, S2 und S3 sind alle parallel zu 1-kΩ-Widerständen verbunden, die an den Minuspol der Stromversorgung führen. Der Gedanke dahinter ist der, dass diese »pull-down«-Widerstände die Pins nahe an der Nullspannung (Masse) halten, solange die Taster nicht gedrückt werden. Wenn du einen der Taster drückst, verbindet er den Pluspol direkt mit dem Chip und überwindet die negative Spannung. Auf diese Weise bleibt der Pin entweder in einem definitiv positiven oder definitiv negativen Zustand. Wenn du einen dieser pull-down-Widerstände entfernst, wird das Display sicher anfangen, wild zu flackern. (Der Chip mit dem Display hat auch einige nicht verbundene Pins. Diese verursachen aber keine Probleme, weil es ein passiver Chip ist, in dem nur eine Anzahl von Leuchtdioden sitzt.)

> *Verbinde immer alle Eingangspins eines CMOS-Chips, so dass sie entweder positiv oder negativ sind. Lies die Warnung »Keine schwebenden Pins!« auf der nächsten Seite.*

Ich schlage vor, dass du erst alle Drähte aus dem Schaltplan verbindest. Dann schneide passende Stücke des Schaltdrahts zurecht, um die übrigen Pins von IC1, IC2 und IC3 mit IC4 zu verbinden.

Schalte den Strom ein und drücke auf S2. Du siehst drei Nullen auf deinem Zifferndisplay.

Jedes Mal, wenn du auf S3 drückst, sollte das Display um eine Zahl hochzählen. Wenn du auf S2 drückst, sollte der Zähler wieder auf 000 springen. Wenn du S1 gedrückt hältst, während du wiederholt auf S3 drückst, sollte der Zähler stehen bleiben und die Impulse von S3 ignorieren.

GRUNDLAGEN

Rückprall

Wenn du auf S3 drückst, zählt der Zähler sicher in einigen Fällen nicht nur um Eins weiter. Das bedeutet nicht, dass mit deiner Schaltung oder deinen Bauteilen etwas nicht in Ordnung ist. Du erlebst hier nur ein Phänomen, das man als Rückprall bezeichnet.

Unter dem Mikroskop gesehen schließen die Kontakte im Taster nicht sanft, fest und augenblicklich. Zuvor vibrieren sie einige Mikrosekunden lang; der Zähler erkennt dann diese Vibration als eine Reihe von Impulsen und nicht nur als einen.

Es gibt verschiedene Schaltungen, um Taster und Schalter zu »entprellen«. Die einfachste Möglichkeit ist die, einen kleinen Kondensator parallel zum Schalter zu setzen, um die Schwankungen aufzufangen, aber auch das ist alles andere als optimal. Ich werde später im Buch noch auf das Thema Entprellen zurückkommen. In dieser Schaltung ist der Rückprall kein Problem, weil wir gleich S3 entfernen und durch einen 555-Timer ersetzen werden, der saubere prallfreie Impulse erzeugt.

Impulse erzeugen

Ein 555-Timer ist ideal dafür, einen Zählerchip anzusteuern. Du hast schon gelernt, wie man einen 555 so verschaltet, dass er eine fortlaufende Reihe von Impulsen ausgibt, die in einem Lautsprecher hörbar werden. Ich baue dieselbe Schaltung wie in Abbildung 4-38 in vereinfachter Form auf und nutze die Spannungsversorgung, wie sie im aktuellen Projekt vorliegt. Ich habe auch die Verbindung zwischen den Pins 2 und 6 so eingezeichnet, wie du sie sicher auch herstellen wirst, nämlich mit einem Draht, der quer über den Chip führt.

Für unser jetziges Experiment schlage ich vor, die Werte der Bauteile so zu wählen, dass nur vier Impulse pro Sekunde erzeugt werden. Bei einer schnelleren Abfolge kannst du nicht mehr überprüfen, ob deine Zähler auch richtig zählen.

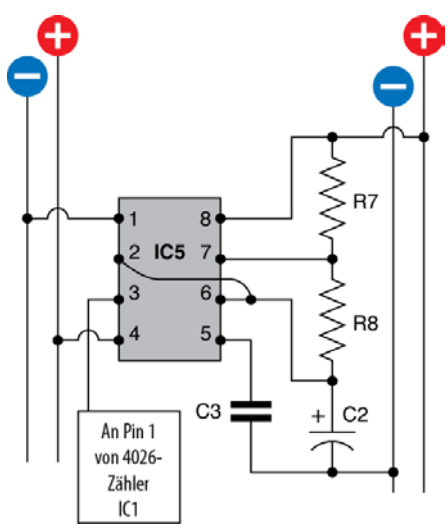


Abbildung 4-38. *Ein einfacher astabiler Schaltkreis, um den Dekadenzähler aus dem vorherigen Schaltplan anzusteuern. Der Ausgang liefert ungefähr vier Impulse pro Sekunde.*

R7: 1 kΩ
R8: 2,2 kΩ
C2: 68 µF
C3: 0,1 µF
IC5: 555-Timer

Keine schwebenden Pins!

Ein CMOS-Chip ist sehr empfindlich. Jeder Pin, der nicht entweder mit der Versorgungsspannung oder Masse verbunden ist, wird als »schwebend« bezeichnet. Er kann wie eine Antenne wirken, die für die kleinsten Veränderungen in der Umwelt empfindlich ist.

Der 4026-Chip hat einen Pin namens »clock disable« (Taktsperrung). Das Datenblatt des Herstellers besagt zum Glück, dass der Chip nicht weiter zählt und die Anzeige anhält, wenn man hier eine positive Spannung anlegt. Weil du das aber nicht willst, könntest du den Pin einfach ignorieren und ihn unverbunden lassen, jedenfalls während du den Chip testest. Dies ist aber eine sehr schlechte Idee!

Was das Datenblatt dir nicht sagt (wohl wegen der Annahme, »das weiß eh jeder«), ist, dass du die Taktsperrung sperren musst, wenn du willst, dass der Zähler normal läuft. Das machst du, indem du sie an das negative Potenzial (Minuspol), also die Masse, anschließt. Wenn du den Pin offen lässt (ich spreche hier aus Erfahrung), wird der Chip sich unberechenbar verhalten und nicht zu gebrauchen sein.

Alle Eingangspins müsssen entweder positiv oder negativ verbunden werden, wenn es nicht anders verzeichnet ist.

Stecke IC5 und die dazugehörigen Bauteile auf deinem Steckboard direkt über IC1 ein. Zwischen den Chips sollte keine Lücke sein. Entferne die Verbindung zu S3 und R3 und verbinde Pin 3 (Output) von IC5 mit einem Draht, direkt mit Pin 1 (Clock, Takt) von IC1, dem obersten Zähler. Schalte den Strom wieder ein. Die Ziffern sollten schnell und gleichmäßig hochzählen. Wenn du S1 drückst, sollte die Anzeige stehenbleiben. Wenn du S2 drückst, sollte der Zähler auf Null zurückspringen, auch wenn du dabei S1 festhältst.

Verfeinerungen

Jetzt erinnern wir uns wieder daran, dass wir mit dieser Schaltung die Reflexe einer Person testen wollten. Wenn der Benutzer anfängt, brauchen wir eine Startverzögerung, danach ein Signal, z.B. eine LED, die angeht. Der Benutzer reagiert auf das Signal, indem er so schnell wie möglich einen Knopf drückt. Während der Zeit, die der Benutzer bis zur Reaktion braucht, zählt der Zähler die Millisekunden. Wenn der Benutzer den Knopf drückt, hält der Zähler an. Das Display bleibt dann auf unbestimmte Zeit stehen und zeigt die Anzahl der Impulse an, die abgezählt wurden, bevor die Person reagieren konnte.

Wie setzen wir das um? Ich glaube, wir brauchen ein Flip-Flop. Wenn das Flip-Flop ein Signal bekommt, startet es den Zähler und lässt ihn laufen. Wenn das Flip-Flop noch ein Signal bekommt (indem der Benutzer einen Knopf drückt), stoppt es den Zähler an und hält ihn in diesem Zustand.

Wie bauen wir dieses Flip-Flop? Ob du es glaubst oder nicht, wir können noch einen 555-Timer benutzen, auf eine andere Weise, nämlich im Bistabilen Modus.

Im bistabilen Modus ist der 555 zu einem großen Flip-Flop geworden. Um Unklarheiten zu vermeiden, halten wir die Pins 2 und 4 im Ruhezustand und über pull-up-Widerstände positiv. Wir können diese Pins aber mit negativen Impulsen herunterziehen, wenn wir den Zustand des 555 umschalten wollen. In Abbildung 4-40 ist die Beschaltung für einen 555-Timer im bistabilen Modus zu sehen, gesteuert von zwei Tastern. Du kannst dies über deiner bisherigen Schaltung aufbauen. Weil du den Output von IC6 an den Pin 2 von IC1, den obersten Zähler, anschließen wirst, kannst du von diesem Pin S1 und R1 abstecken. Siehe Abbildung 4-41.

Aktiviere die Schaltung wieder. Sie sollte genau so wie bisher zählen, aber stehenbleiben, wenn du S4 drückst. Das liegt daran, dass dein bistabiler 555-Timer seinen positiven Output an den »clock disable«-Pin des Zählers sendet. Der Counter empfängt immer noch eine Folge von Impulsen vom astabilen 555-Timer, aber solange Pin 2 am Zähler positiv ist, ignoriert dieser die Impulse einfach.

Drücke jetzt S5, der deinen bistabilen 555 wieder zurück auf einen negativen Output schaltet, wodurch der Zähler weiter schaltet.

Wir sind jetzt schon ganz nah an einer fertigen, funktionierenden Schaltung. Wir können den Zähler auf Null stellen (über S3), den Zähler starten (mit S5) und darauf warten, dass der Benutzer den Zähler stoppt (mit S4). Es fehlt nur noch eine Möglichkeit, den Zählvorgang unerwartet zu starten.

GRUNDLAGEN

Der bistabile 555-Timer

Abbildung 4-39 zeigt wie zuvor den Aufbau eines 555-Timers, aber die externen Bauteile auf der rechten Seite sind nicht mehr da. Stattdessen liegt an Pin 6 durchgehend eine negative Spannung an. Kannst du erkennen, was dann passiert? Gehen wir davon aus, dass du einen negativen Impuls an den Trigger (Pin 2) schickst. Wenn du das machst und der 555 zu laufen beginnt, wird normalerweise ein positives Ausgangssignal erzeugt und der Kondensator an Pin 6 aufgeladen. Sobald der Kondensator 2/3 der Versorgungsspannung erreicht, beendet der 555 sein positives Ausgangssignal und schaltet wieder auf negativ.

Aber da hier der Kondensator fehlt, gibt es nichts, das den Timer wieder anhält. Sein positives Ausgangssignal geht einfach auf unbestimmte Zeit weiter. Pin 4 (Reset) kann aber immer noch alles aufheben. Wenn du also eine negative Spannung an Pin 4 anlegst, schaltet er den Ausgang auf negativ. Danach bleibt der Ausgang auch auf unbestimmte Zeit negativ, so wie es immer ist, bis man den Timer wieder triggert, indem man die Spannung an Pin 2 abfallen lässt. Dadurch kippt der Timer wieder in den Zustand, in dem er ein positives Ausgangssignal erzeugt.

Eine kurze Zusammenfassung der bistabilen Belegung:

- Ein negativer Impuls an Pin 2 schaltet den Ausgang positiv.
- Ein negativer Impuls an Pin 4 schaltet den Ausgang negativ.
- Der Timer ist in beiden Zuständen stabil. Seine Laufzeit ist dadurch unendlich.

Es ist kein Problem, die Pins 5 und 7 offen zu lassen, weil wir den Timer sowieso in extreme Zustände versetzen, in denen zufällige Signale an diesen Pins ignoriert werden.

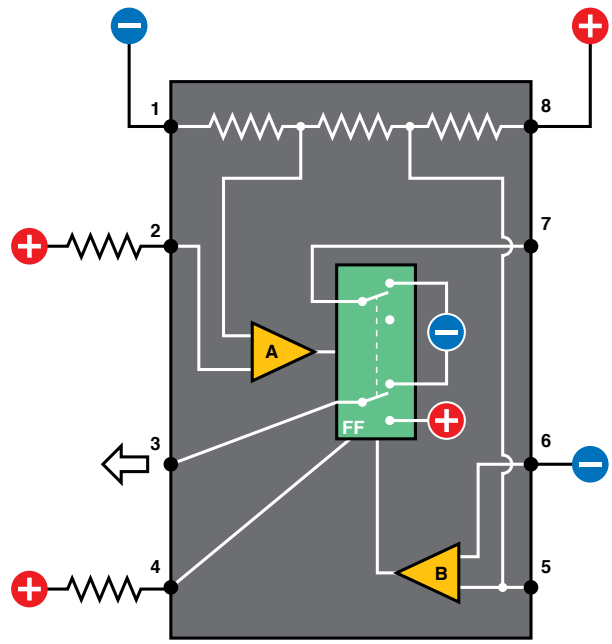


Abbildung 4-39. *In der bistabilen Konfiguration ist Pin 6 eines 555-Timers immer negativ, so dass der Timerzyklus nie endet, bis du ihn dazu zwingst, indem du einen negativen Impuls an Pin 4 (Reset) schickst.*

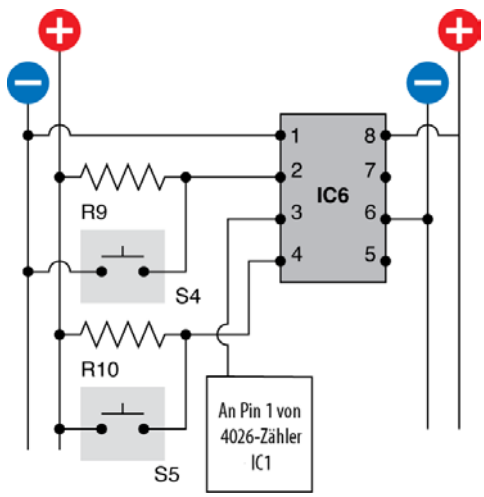


Abbildung 4-40. *Indem man dem Reflex-Tester einen bistabilen 555-Timer hinzufügt, kann man den Zähler auf Knopfdruck anhalten und in diesem Zustand festhalten.*

R9, R10: 1 kΩ
IC6: 555-Timer

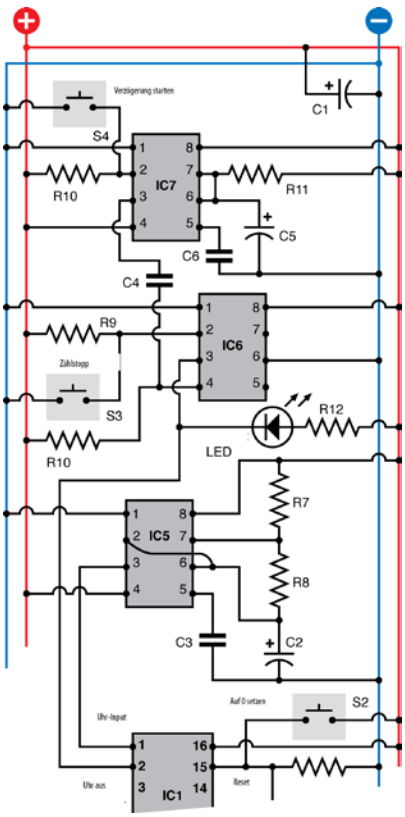


Abbildung 4-41. *Die fertige Steuereinheit der Schaltung, die oberhalb der Timer hinzugefügt wird.*

R7, R9, R10, R12: 1 kΩ
R8: 2,2 kΩ
R11: 330 kΩ
C1: 100 µF
C2: 68 µF
C3, C4, C6: 0,1 µF
C5: 10 µF
S1, S2, S3: Drucktaster
IC5, IC6, IC7: 555-Timer

Die Verzögerung

Gehen wir davon aus, noch einen 555 hinzuzufügen, und zwar im monostabilen Modus. Sobald man dessen Pin 2 mit einem negativen Impuls triggert, liefert der Timer einen positiven Output, der für sagen wir vier Sekunden anhält. Nach dieser Zeit fällt der Output wieder auf negativ. Vielleicht können wir diesen Übergang von positiv zu negativ an Pin 5 von IC6 anschließen. Wir können damit Taster S5 ersetzen, den wir bisher gedrückt haben, um den Zähler zu starten.

Schau dir den neuen Schaltplan in Abbildung 4-41 an, der noch einen 555-Timer, IC7, über IC6 hinzufügt. Wenn der Ausgang von IC7 von positiv zu negativ umschaltet, löst er den Reset von IC6 aus, schaltet dadurch dessen Ausgang negativ, wodurch der Zähler startet. IC7 hat also den Platz des Startknopfs S4 eingenommen. Du kannst S4 wegnehmen, aber lass den pull-up-Widerstand R9 an seinem Platz, damit der Reset-Pin von IC6 den Rest der Zeit positiv bleibt.

Dies funktioniert, weil ich einen Kondensator, C4, benutzt habe, um den Output von IC7 mit dem Reset von IC6 zu verbinden. Der Kondensator reicht den plötzlichen Wechsel von positiv zu negativ weiter, blockiert aber während der restlichen Zeit die gleichbleibende Spannung von IC7, so dass diese keinen Einfluss auf IC6 hat.

Der abschließende Schaltplan in Abbildung 4-41 zeigt die drei 555-Timer, wie sie alle miteinander verbunden sind und wie du sie oberhalb des obersten Zählers, IC1, platzieren solltest. Ich habe auch eine LED als Signal für den Benutzer hinzugefügt. Abbildung 4-42 ist ein Foto meiner funktionierenden Schaltung.

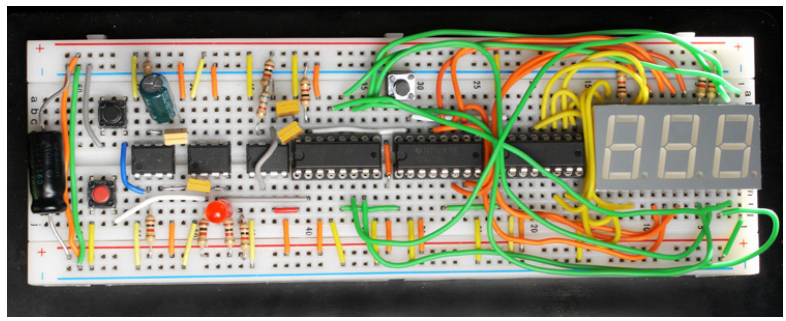


Abbildung 4-42. *Die fertige Schaltung des Reaktions-Timers passt nur knapp auf ein Steckbrett mit 63 Zeilen.*

Weil diese Schaltung so kompliziert ist, fasse ich den Ablauf der Einzelschritte zusammen. Schau dir Abbildung 4-41 an, währen du diese Schritte verfolgst:

1. Der Benutzer drückt den Taster S4, »Startverzögerung«, der IC7 triggert.
2. Der Output von IC7 hat einige Sekunden lang einen High-Pegel, während C5 auflädt.
3. Der Output von IC7 fällt wieder auf einen Low-Pegel.
4. IC7 gibt einen Impuls von niedriger Spannung durch C4 an Pin 4 von IC6 weiter.
5. Der Output von IC6 schaltet auf low und bleibt in diesem Zustand.

6. Der Low-Pegel von IC6 fungiert als Stromsenke für die LED, die angeht.
7. Der Low-Pegel von IC6 geht auch an Pin 2 von IC1.
8. Die niedrige Spannung an Pin 2 von IC1 erlaubt IC1, mit dem Zählen zu beginnen.
9. Der Benutzer drückt den Stop-Taster S3.
10. S3 verbindet Pin 2 von IC6 mit der Masse.
11. Der Output von IC6 schaltet auf high und bleibt in diesem Zustand.
12. Der High-Pegel von IC6 schaltet die LED aus.
13. Der High-Pegel von IC6 geht auch an Pin 2 von IC1.
14. Die hohe Spannung an Pin 2 von IC1 stoppt den Zählvorgang.
15. Der Benutzer drückt S2, nachdem er das Ergebnis gelesen hat.
16. S2 führt positive Spannung an Pin 15 von IC1, IC2, IC3.
17. Die positive Spannung setzt die Zähler auf Null.
18. Der Benutzer kann es jetzt noch einmal versuchen.
19. Währenddessen läuft IC5 ohne Pause durch.

Wenn du ein Blockschaltbild verständlicher findest, kannst du in Abbildung 4-43 nachsehen.

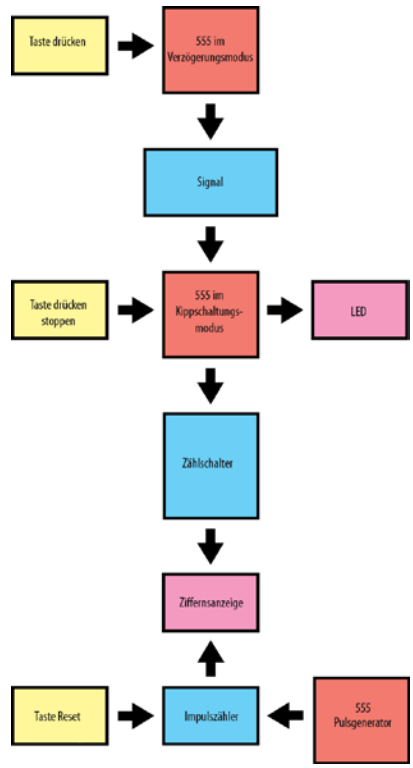


Abbildung 4-43. *Die Funktionen des Reflex-Testers in einem Blockschaltbild zusammengefasst.*

Einsatz des Reflextesters

Wenn du hier angekommen bist, solltest du deine Schaltung vollständig durchtesten können. Wenn du sie einschaltest, fängt sie erst einmal an zu zählen, was ein bisschen nervt, aber einfach zu beheben ist. Drücke S3, um den Zähler anzuhalten und S2, um ihn auf Null zu stellen.

Jetzt drücke S4. Es entsteht der Eindruck, als würde nichts passieren, aber darum geht es ja. Der Verzögerungszyklus hat unbemerkt begonnen. Nach einigen Sekunden ist die Verzögerung beendet und die LED geht an. Gleichzeitig legt der Zähler los. Der Benutzer drückt so schnell wie möglich auf S3, um den Zähler zu stoppen. Die Ziffern bleiben stehen und zeigen an, wie viel Zeit vergangen ist.

Es gibt nur ein Problem: Das System ist noch gar nicht eingestellt. Es läuft immer noch in Zeitlupe. Du musst den Widerstand und den Kondensator an IC5 verändern, damit es in der Sekunde 1000 Impulse erzeugt und nicht nur drei oder vier.

Ersetze R8 durch ein Trimmpotentiometer mit 10 kΩ und C2 durch einen Kondensator mit 1 µF. Diese Kombination erzeugt ungefähr 690 Impulse in der Sekunde, wenn der Trimmer auf den maximalen Widerstand eingestellt ist. Wenn du den Trimmer herunter regelst, um den Widerstand zu senken, wird der Timer ungefähr bei Mittelstellung mit 1000 Impulsen pro Sekunde laufen.

Woher weißt du genau, wo dieser Punkt ist. Im Idealfall würdest du den Tastkopf eines Oszilloskops mit dem Output von IC5 verbinden. Wahrscheinlich besitzt du aber kein Oszilloskop, also sind hier einige andere Vorschläge angeführt.

Entferne zuerst den Kondensator C2 mit 1 µF und setze stattdessen einen mit 10 µF ein. Weil du die Kapazität um den Faktor Zehn erhöhst, verlangsamst du das Tempo auf ein Zehntel. Die Ziffer ganz links zählt jetzt die Sekunden und geht alle zehn Sekunden von 9 wieder auf 0 zurück. Du kannst dein Trimmpoti einstellen, indem du das Display mit einer Stoppuhr abgleichst. Wenn das Tempo stimmt, nimm den Kondensator C2 mit 10 µF heraus und setze wieder 1 µF ein.

Es bleibt das Problem, dass die Kondensatorwerte eine Toleranz von bis zu 10 Prozent haben können. Wenn du deinen Reflextester genau einstellen willst, kannst du wie folgt weitermachen.

Löse die Verbindung von Pin 5 am IC3 und setze stattdessen eine LED mit einem Vorwiderstand von 1 kΩ ein. Pin 5 ist der »carry«-Pin (Übertrag), der immer dann einen positiven Impuls abgibt, wenn IC3 bis 9 gezählt hat und wieder auf 0 schaltet. Weil IC3 in Zehntelsekunden zählt, sollte sein Übertragssignal einmal pro Sekunde auftreten.

Lass die Schaltung für eine Minute laufen und überprüfe mit deiner Stoppuhr, ob die LED während dieses Zeitraums schneller oder langsamer als einmal in der Sekunde blinkt. Wenn du einen Camcorder mit einer Zeitanzeige im Sucher hast, kannst du die LED auch damit beobachten.

Wenn die LED zu kurz aufblinkt, um einfach zu erkennen zu sein, kannst du auch einen Draht von Pin 5 mit noch einen 555-Timer verbinden, der im monostabilen Modus läuft. Dadurch erzeugst du einen Ausgang, der etwa eine Zehntelsekunde lang ist. Der Ausgang dieses Timers kann eine LED antreiben.

Verbesserungen

Man muss nicht extra betonen, dass man immer, wenn man ein fertiges Projekt hat, noch Verbesserungsmöglichkeiten erkennt. Hier sind einige Vorschläge:

1. Beim Einschalten sollte der Zähler nicht gleich beginnen. Es wäre schöner, wenn die Schaltung im Bereitschaftszustand startet, und nicht schon hochzählt. Um das zu erreichen, musst du einen negativen Impuls an Pin 2 von IC6 schicken und vielleicht einen positiven Impuls an Pin 15 von IC1. Das geht vielleicht mit einem zusätzlichen 555-Timer. Entsprechende Experimente überlasse ich dir.
2. Es sollte eine hörbare Rückmeldung erzeugt werden, wenn man den Startknopf drückt. Im Moment gibt es keine Bestätigung, dass der Startknopf funktioniert hat. Du musst nur einen Piezo-Signalgeber kaufen und ihn zwischen der rechten Seite des Startknopfs und dem Pluspol des Netzteils platzieren.
3. Es sollte eine zufällige Wartezeit geben, bevor der Zähler beginnt. Es ist sehr schwer, mit elektronischen Bauteilen ein zufälliges Verhalten hinzubekommen. Eine Möglichkeit wäre, dass der Benutzer seinen Finger auf zwei Metallkontakte drücken muss. Weil der Fingerdruck nicht jedes mal gleich wäre, würde die Verzögerung variieren. Du müsstest auch den Wert von C5 anpassen.

Zusammenfassung

Dieses Projekt hat gezeigt, wie ein Zählerchip angesteuert werden kann und wie sich mehrere Zählerchips aneinander hängen lassen. Außerdem werden drei verschiedene Einsatzmöglichkeiten für 555-Timer vorgestellt. Es hat dir auch gezeigt, wie Chips miteinander kommunizieren können und wie man eine Schaltung richtig einstellt, wenn man sie fertiggestellt hat.

Wenn du die Schaltung tatsächlich praktisch einsetzen willst, solltest du sie in ein Gehäuse mit stabileren Tastern einbauen, besonders den Taster, der den Zähler stoppt. Du merkst sicher auch selber, dass die Probanden bei einem Reflextest sehr fest auf den Knopf schlagen.

Weil dies so ein großes Projekt war, kommen jetzt einige schnellere und einfachere Schaltungen, mit denen wir in die faszinierende Welt einer anderen Sorte von integrierten Schaltungen gelangen: in die der Logikbausteine.

Experiment 19: Logik lernen

Das brauchst du:

- Diverse Widerstände und Kondensatoren.
- 74HC00-Chip (quad 2-input NAND), 74HC08-Chip (quad 2-input AND) und den Spannungsregler LM7805. Anzahl: je 1.
- Signaldiode, 1N4148 oder ähnlich. Anzahl: 1.
- Low-Current-LED. Anzahl: 1.
- Drucktaster, einpolig. Anzahl: 2.

Du betrittst jetzt das Gebiet der reinen Digitalelektronik und benutzt »Logikgatter«, die die Grundlage jedes elektronischen Computers darstellen. Wenn du dich mit ihnen einzeln befasst, sind sie sehr einfach zu verstehen. Wenn du sie miteinander verkettest, wirken sie einschüchternd komplex. Also fangen wir damit an, sie der Reihe nach kennenzulernen.

Logikgatter sind viel anspruchsvoller als der 555-Timer oder der 4026-Zähler, die du bisher eingesetzt hast. Sie verlangen absolut genau 5 Volt Wechselstrom ohne Schwankungen oder »Spitzen« im Stromfluss. Zum Glück kann man das leicht erreichen: Bau auf deinem Steckbrett einfach einen LM7805-Spannungsregler auf, wie im Schaltplan in Abbildung 4-44 und auf dem Foto in Abbildung 4-45 zu sehen. Der Spannungsregler erhält 9 Volt von deiner normalen Spannungsversorgung und reduziert diese mit der Hilfe von zwei Kondensatoren auf 5 Volt. Du kannst die 9 Volt am Regler anlegen und anstelle der ungeregelten Spannung die 5 Volt über die Seitenschienen des Steckbretts weiterleiten. Überprüfe die Spannung mit deinem Multimeter und achte darauf, die Polarität immer deutlich zu kennzeichnen.

Nachdem du den Spannungsregler aufgebaut hast, nimm zwei Drucktaster, zwei 10-kΩ-Widerstände, eine Low-Current-LED und einen 1-kΩ-Widerstand und bau sie so um einen 74HC00-Logikchip auf, wie in Abbildung 4-46 dargestellt. Dir fällt sicher auf, dass viele Pins des Chips miteinander und mit dem Minuspol verbunden sind. Das werde ich gleich erklären.

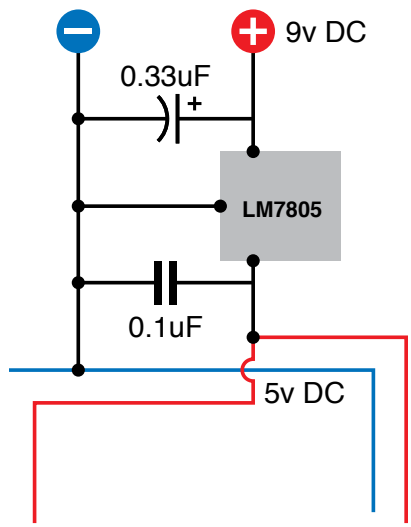


Abbildung 4-44. *Diese einfache Schaltung ist unentbehrlich, wenn eine geregelte Gleichspannung mit 5 Volt für Logikchips bereit gestellt werden soll.*

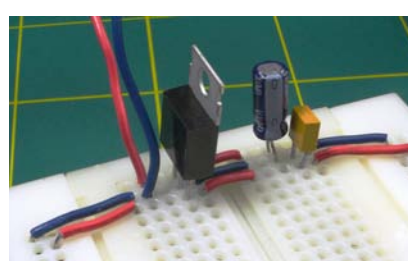


Abbildung 4-45. *Der Spannungsregler und seine zwei Kondensatoren passen auf engstem Raum an das obere Ende des Steckbretts. Achte darauf, die 9 Volt am linken Pin des Reglers anzulegen und verteile die 5 Volt vom Ausgang an beiden Seiten des Steckbretts.*

GRUNDLAGEN

Spannungsregler

Die einfachsten Formen dieser kleinen Halbleiter nehmen an einem Pin eine höhere Gleichspannung auf und liefern an einem anderen Pin eine niedrigere Gleichspannung. Der dritte Pin (normalerweise in der Mitte) dient als gemeinsamer Minuspol bzw. Masse. Du solltest außerdem zwei Kondensatoren benutzen, um den Strom zu glätten, wie in Abbildung 4-46 zu sehen.

In der Regel kannst du eine Versorgungsspannung von 7,5 oder 9 Volt an den Eingang eines 5-Volt-Spannungsreglers anschließen und erhältst am Ausgang genau 5 Volt. Falls du dich fragst, wohin die überschüssige Spannung verschwindet: Der Spannungsregler wandelt die Elektrizität in Hitze um. Aus diesem Grund haben kleine Spannungsregler (wie der in Abbildung 4-8) oft eine Rückseite aus Metall mit einem Loch an der Oberseite. Das Metall ist dazu da, die Hitze abzustrahlen, was besser gelingt, wenn du ein Stück Aluminium daran festschraubst, da Aluminium ein sehr guter Wärmeleiter ist. Dieses Aluminium bezeichnet man als Kühlkörper. Du kannst es in sehr interessanten Formen mit mehreren Kühlrippen kaufen.

Bei unseren Schaltungen brauchen wir nicht so viel Strom, als dass ein Kühlkörper nötig wäre.

Wenn du den Strom einschaltest, sollte die LED leuchten. Drücke auf einen der Taster und die LED bleibt an. Drücke auf den anderen Taster und die LED bleibt auch an. Jetzt drücke auf beide Taster. Die LED sollte ausgehen.

Die Pins 1 und 2 sind die logischen Eingänge des 74HC00-Chips. Zu Beginn haben sie negative Spannung geführt, weil sie über 10-kΩ-Widerstände mit dem Minuspol verbunden waren. Jeder der Taster übersteuert aber seinen pull-down-Widerstand und zwingt den Pin, positiv zu werden.

Der logische Ausgang des Chips ist immer positiv, wie du gesehen hast. Eine Ausnahme liegt nur dann vor, wenn der erste und der zweite Eingang positiv sind. Weil der Chip eine »nicht-und«-Berechnung durchführt (engl. »not and«), wird er als NAND-Gatter bezeichnet. In Abbildung 4-47 kannst du den Aufbau auf dem Steckbrett sehen. Die Abbildung 4-48 ist eine vereinfachte Version der Schaltung. Das U-förmige Teil mit einem Kreis am unteren Ende ist das Schaltsymbol für ein NAND-Gatter. Im Schaltbild ist keine Stromversorgung eingezeichnet, aber alle Logikchips brauchen eine Stromversorgung, um mehr Strom auszugeben, als sie aufnehmen. Wenn du also das Schaltzeichen für einen Logikchip siehst, dann denke immer daran, dass er nur mit Strom funktioniert.

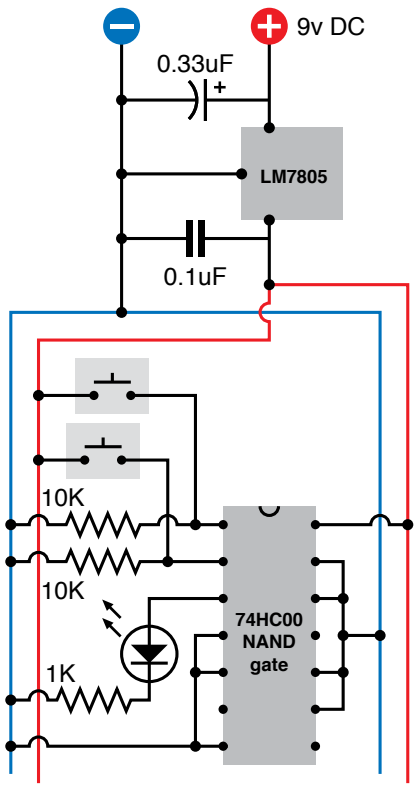


Abbildung 4-48. *Wenn du die LED beobachtest, während du je einen, beide oder keinen Taster drückst, kannst du leicht die logische Funktion des NAND-Gatters herausfinden.*

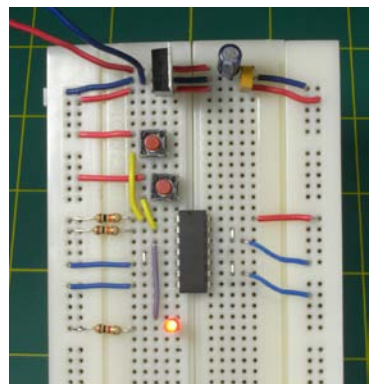


Abbildung 4-47. *Dieser Aufbau auf dem Steckbrett entspricht genau dem Schaltplan in Abbildung 4-46.*

Der 74HC000 enthält sogar vier NAND-Gatter, jedes von ihnen mit zwei logischen Eingängen und einem Ausgang. Sie sind so angeordnet, wie in Abbildung 4-49 zu sehen. Weil für den einfachen Test nur ein Gatter benötigt wurde, haben wir die Eingangspins der unbenutzten Gatter am Minuspol der Stromversorgung stillgelegt.

Pin 14 versorgt den Chip mit positiver Spannung. Pin 7 ist der Masse-Pin. Fast alle Logikchips der 7400-Familie benutzen diese Pins für den Plus- und Minuspol, so dass du sie leicht untereinander tauschen kannst.

Das können wir auch gleich mal machen. Schalte den Strom ab. Ziehe den 74HC00 vorsichtig heraus und stecke ihn wieder in ein Stück leitenden Schaumstoff. Ersetze ihn durch einen 74HC08-Chip, der ein AND-Chip ist. Achte darauf, dass du ihn richtig herum einsetzt, so dass die Kerbe nach oben weist. Schalte den Strom wieder ein und drücke wieder auf die Taster. Diesmal solltest du bemerken, dass die LED angeht, wenn sowohl der erste als auch der zweite Eingang positiv sind, ansonsten aber aus bleibt. Also funktioniert der AND-Chip im Vergleich zum NAND-Chip genau anders herum. Die Pinbelegung ist in Abbildung 4-50 zu sehen.

Vielleicht fragst du dich, wozu man diese Teile benutzen kann. Bald lernst du, dass wir Logikgatter verbinden können, um z.B. ein elektronisches Zahlenschloss, ein Paar elektronischer Würfel oder eine elektronische Version einer Fernsehquizsendung, bei der die Teilnehmer um die Beantwortung einer Frage streiten, zu bauen. Wenn du ganz außergewöhnlich ambitioniert wärst, könntest du auch einen ganzen Computer nur aus Logikgattern bauen.

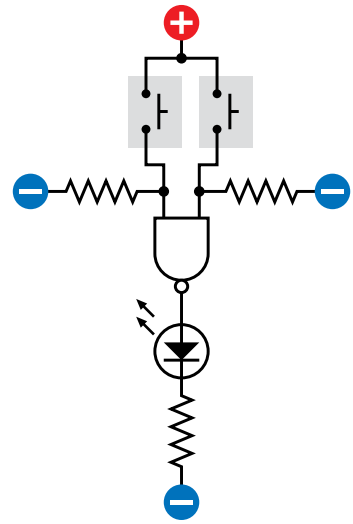


Abbildung 4-48. *Die Struktur und Funktion des NAND-Gatters lässt sich mit diesem vereinfachten Schaltplan, bei dem die Stromversorgung weggelassen wurde und der sich nicht direkt auf einem Steckbrett abbilden lässt verdeutlichen.*

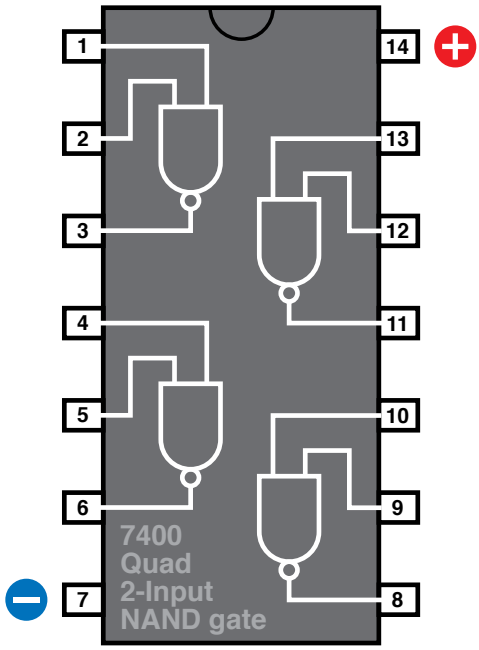


Abbildung 4-49. *Die Anschlüsse der Logikgatter in einem 74HC00-Chip.*

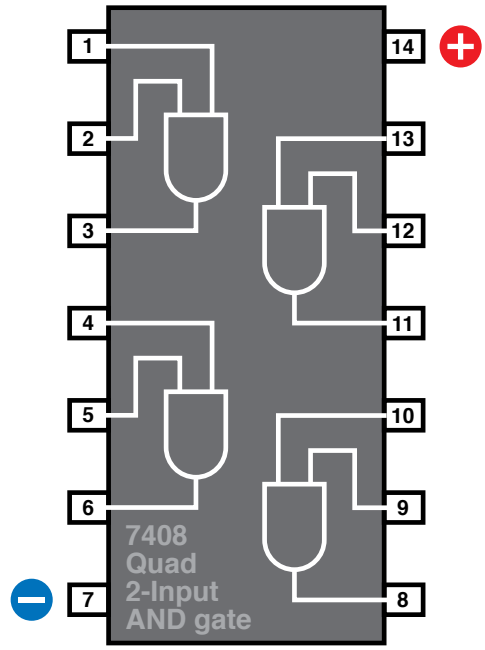


Abbildung 4-50. *Die Anschlüsse der Logikgatter in einem 74HC08-Chip.*

HINTERGRUNDWISSEN

Von Boole zu Shannon

George Boole war ein britischer Mathematiker, geboren 1815, dem etwas gelang, wozu den meisten Menschen das Glück oder die Intelligenz fehlt: Er erfand eine ganz neue mathematische Disziplin.

Interessanterweise basierte sie nicht auf Zahlen. Boole hatte einen unbarmherzig logischen Verstand und er wollte die Welt auf eine Reihe von wahren oder falschen Aussagen reduzieren, die sich auf interessante Weise überschnitten. Stell dir zum Beispiel vor, dass Ann und Bob ein Paar sind. Sie sind so arm, dass sie nur einen Hut besitzen. Wenn du Ann und Bob auf der Straße triffst, gibt es vier Möglichkeiten: Keiner von beiden trägt einen Hut, Anne trägt den Hut oder Bob trägt den Hut. Sie können ihn aber nicht beide tragen.

Im Diagramm in Abbildung 4-51 wird dies verdeutlicht. Alle Zustände sind möglich, außer dem Zustand, bei dem die Kreise sich überschneiden. (Dies nennt man ein Venn-Diagramm. Wenn dich das interessiert und du mehr darüber lernen willst, kannst du einfach online danach suchen.) Boole erweiterte dieses Konzept und zeigte, wie man überaus komplexe logische Matrizen erzeugen und vereinfachen kann.

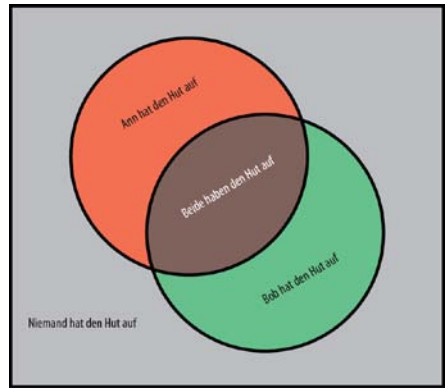


Abbildung 4-51. *Dieses etwas unseriöse Venn-Diagramm zeigt die verschiedenen Möglichkeiten, die zwei Menschen, Ann und Bob, mit nur einem Hut haben.*

Man kann die Hut-Situation auch in einer »Wahrheitstabelle« zusammenfassen wie in Abbildung 4-52. Die rechte Spalte gibt an, ob die Kombination der Behauptungen wahr sein kann. Schau dir dann die Tabelle in Abbildung 4-53 an. Es ist dieselbe Tabelle, nur mit anderen Begriffen. Sie beschreibt das Muster, das du beim NAND-Gatter gesehen hast.

Boole veröffentlichte seine Abhandlung über die Logik im Jahre 1854, lange bevor sie auf elektrische oder elektronische Instrumente angewandt werden konnte. Im Laufe seines Lebens gab es für seine Arbeit sogar überhaupt keine praktische Anwendung. Ein Mann namens Claude Shannon stieß aber in den 1930er Jahren während seines Studiums am MIT auf die Boolesche Logik und veröffentlichte 1938 einen Artikel, wie die Boolesche Analyse auf Schaltungen mit Relais angewandt werden könne. Es gab dafür sogleich praktische Anwendungen, da sich die Telefonnetze schnell ausdehnten und komplizierte Schaltungsprobleme hervorbrachten.

HINTERGRUNDWISSEN

Von Boole zu Shannon (Fortsetzung)

Ann hat den Hut auf	Bob hat den Hut auf	Diese Kombination kann sein
NO	NO	TRUE
NO	YES	TRUE
YES	NO	TRUE
YES	YES	FALSE

Abbildung 4-52. *Die Möglichkeiten des Huttragens können in einer »Wahrheitstabelle« ausgedrückt werden.*

Input A	Input B	Output
OFF	OFF	ON
OFF	ON	ON
ON	OFF	ON
ON	ON	OFF

Abbildung 4-53. *Die Wahrheitstabelle kann umformuliert werden, um die Ein- und Ausgänge eines NAND-Gatters zu beschreiben.*

Ein sehr einfaches Telefonproblem kann so ausgedrückt werden. Gehen wir davon aus, dass sich zwei Teilnehmer im ländlichen Raum eine Telefonleitung teilen. Wenn der eine sie benutzen will oder der andere sie benutzen will oder keiner sie benutzen will, gibt es kein Problem. Aber sie kann nicht von beiden Teilnehmern gleichzeitig benutzt werden. Du merkst sicher, dass das genau dasselbe ist wie die Hutsituation bei Ann und Bob.

Wir können leicht eine Schaltung mit zwei in Ruhestellung geschlossenen Relais aufzeichnen, die das gewünschte Ergebnis bringt (siehe Abbildung 4-54), aber wenn du dir eine Vermittlungsstelle mit mehreren Tausend Teilnehmern vorstellst, wird die Lage durchaus sehr kompliziert. Tatsächlich gab es zu Shannons Zeit keinen logischen Prozess, um die beste Lösung herauszufinden und zu bestätigen, dass diese weniger Bauteile als eine andere Lösung benötigte.

Shannon erkannte, dass die Boolesche Analyse dafür benutzt werden konnte. Nicht nur das: Wenn man mit dem Zustand »an« die Ziffer 1 und dem Zustand »aus« die Ziffer 0 zuweist, kann man ein System von Relais bauen, das zählen kann. Und wenn es zählen kann, kann es auch rechnen.

Als die Relais durch Vakuumröhren ersetzt wurden, baute man die ersten brauchbaren Digitalrechner. Den Platz von Röhren nahmen die Transistoren ein und diese wurden von integrierten Schaltungen ersetzt, was zu den PCs führte, die wir heute als selbstverständlich ansehen. Aber ganz unten auf der einfachsten Ebene dieser unglaublich komplexen Maschinen benutzen sie immer noch die Gesetze der Logik, die George Boole entdeckt hatte. Wenn du heute online eine Suchmaschine benutzt und deine Suche mit den Wörtern AND und OR eingrenzt, benutzt du Boolesche Operatoren.

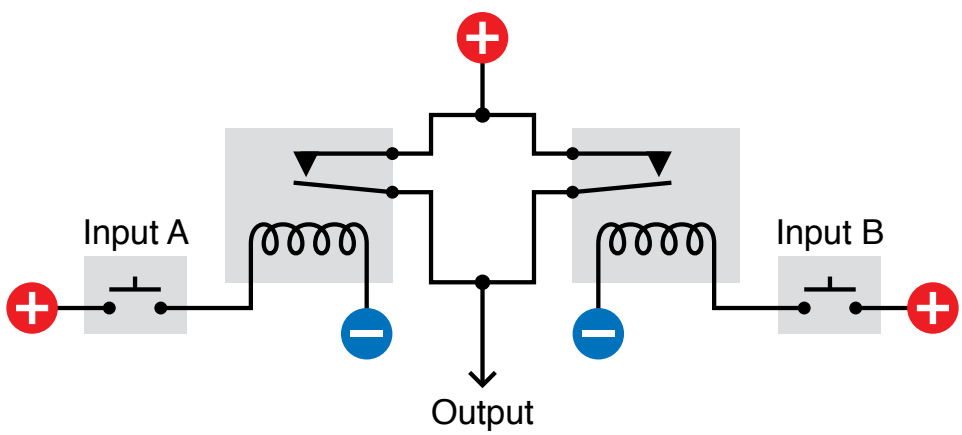


Abbildung 4-54. *Diese Relaisschaltung könnte die gewünschte Logik für zwei Fernsprechteilnehmer darstellen, die sich eine Telefonleitung teilen möchten. Ihr Verhalten ist fast identisch mit dem NAND-Schaltplan aus Abbildung 4-48.*

Abbildung 4-55. *Ann und Bob versuchen, die Grenzen der booleschen Logik zu überwinden.*

ESSENTIALS

Die Grundlagen von Logikgattern

Das NAND-Gatter ist der grundlegendste Baustein von digitalen Computern, weil er digitale Addition ermöglicht. (Die Erläuterung würde den Rahmen dieses Buches sprengen) Wenn du darüber mehr lernen willst, suche online nach »Binärrechnung« und »Halbaddierer«.)

Es gibt im Allgemeinen sieben verschiedene Logikgatter:

- AND
- NAND
- OR
- NOR
- XOR
- XNOR
- NOT

Von den sechs Gattern mit zwei Eingängen wird das XNOR-Gatter fast nie benutzt. Das NOR-Gatter hat nur einen Eingang und gibt einfach ein negatives Ausgangssignal, wenn der Eingang positiv ist und ein positives Ausgangssignal, wenn der Eingang negativ ist. Das NOT-Gatter wird auch meistens als »Inverter« bezeichnet. Die Schaltzeichen für alle sieben Gatter sind in Abbildung 4-56 zu sehen.

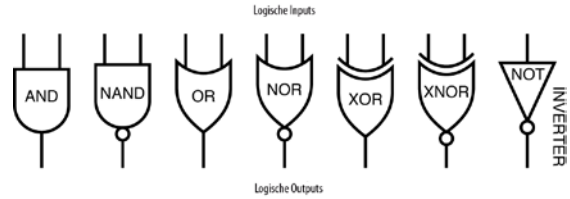


Abbildung 4-56. *Die amerikanischen Schaltzeichen für die sechs Arten von Logikgattern mit zwei Eingängen und den Inverter mit einem Eingang.*

Ich habe die amerikanischen Symbole abgebildet. In Europa sehen die Symbole anders aus, aber meistens begegnet man in Schaltplänen diesen traditionellen Symbolen. Ebenfalls abgebildet sind die Wahrheitstabellen in Abbildung 4-57. Sie zeigen den logischen Ausgangspegel (»high« oder »low«) für jedes Eingangspaar an jedem Gattertyp.

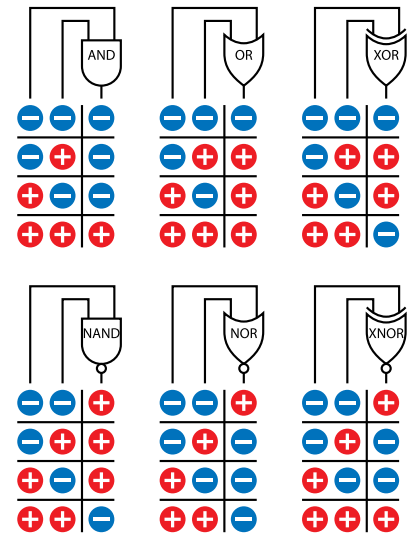


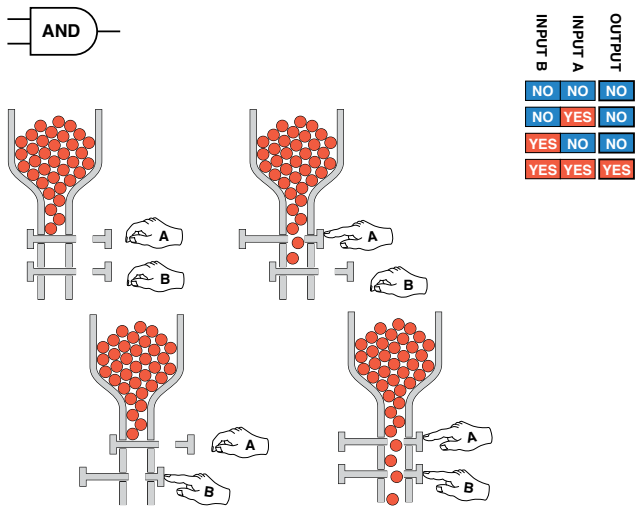
Abbildung 4-57. *Eingangswerte und dazugehörige Ausgangswerte für die sechs Arten von Logikgattern. (Das XNOR-Gatter wird selten gebraucht.) Die Minuszeichen stehen für eine niedrige Spannung, nahe am Massepotential. Die Pluszeichen zeigen eine höhere Spannung an, nahe am positiven Potential der Versorgungsspannung der Schaltung. Die genauen Spannungen hängen von den anderen Bauteilen ab, die mit den Gattern verbunden sind.*

ESSENTIALS

Die Grundlagen von Logikgattern (Fortsetzung)

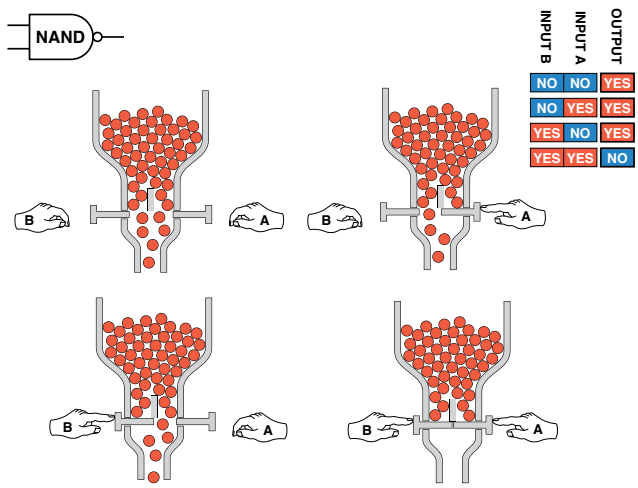
Wenn du dir Logikgatter nicht so einfach vorstellen kannst, hilft vielleicht ein Vergleich mit einer Mechanik. Du kannst dir die Eingänge wie bewegliche Scheiben mit einem Loch darin in einem Kaugummiautomaten vorstellen. Zwei Menschen, A und B, können die Scheiben zur Seite drücken. Diese Menschen sind die zwei Eingänge, die als positiv bezeichnet werden, wenn sie etwas tun. (Es gibt auch negative Logiksysteme, aber diese kommen eher selten zum Einsatz, also beschränken wir uns an dieser Stelle auf positive Systeme.)

Die fallenden Kaugummikugeln stehen für den Fluss von positiver Spannung. Die ganze Bandbreite der Möglichkeiten ist in den Abbildungen 4-58 bis 4-63 zu sehen.



INPUT B	INPUT A	OUTPUT
NO	NO	NO
NO	YES	NO
YES	NO	NO
YES	YES	YES

Abbildung 4-58

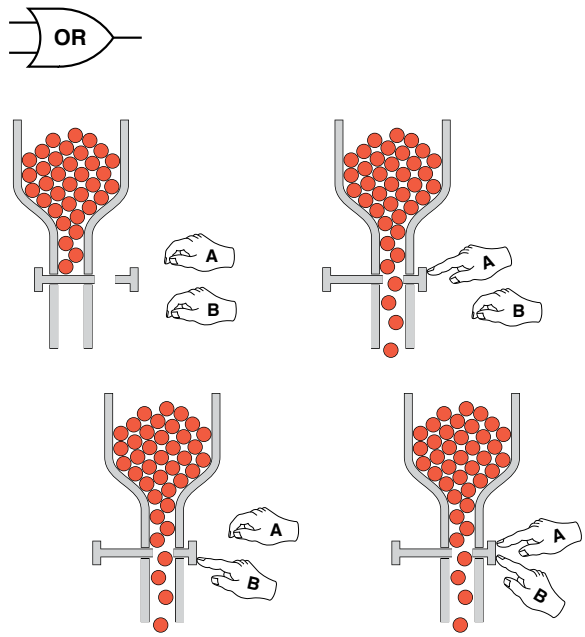


INPUT B	INPUT A	OUTPUT
NO	NO	YES
NO	YES	YES
YES	NO	YES
YES	YES	NO

Abbildung 4-59

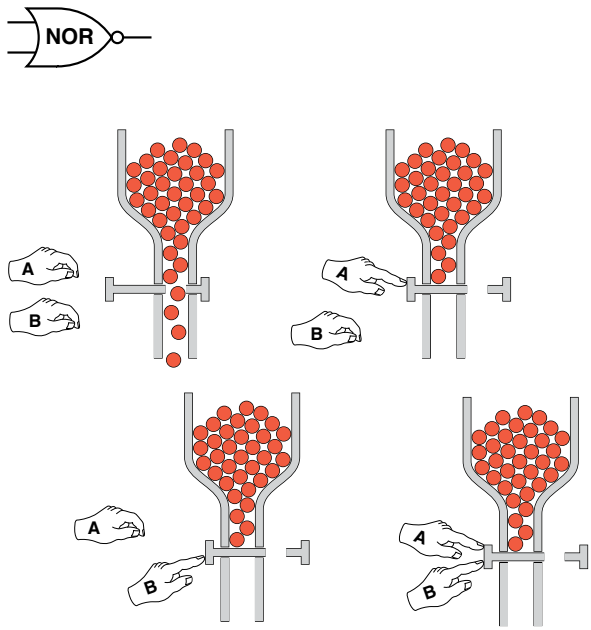
ESSENTIALS

Die Grundlagen von Logikgattern (Fortsetzung)



INPUT B	INPUT A	OUTPUT
NO	NO	NO
NO	YES	YES
YES	NO	YES
YES	YES	YES

Abbildung 4-80



INPUT B	INPUT A	OUTPUT
NO	NO	YES
NO	YES	NO
YES	NO	NO
YES	YES	NO

Abbildung 4-81

ESSENTIALS

Die Grundlagen von Logikgattern (Fortsetzung)

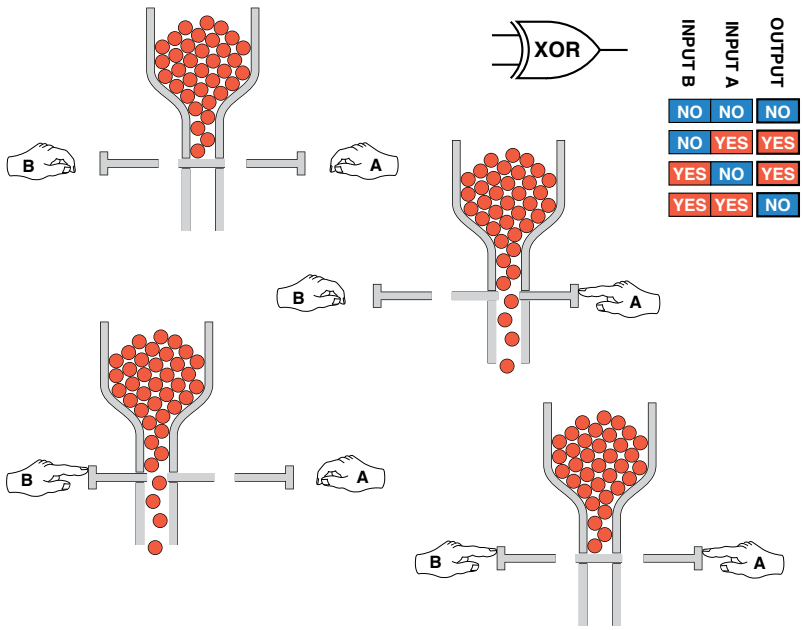


Abbildung 4-62

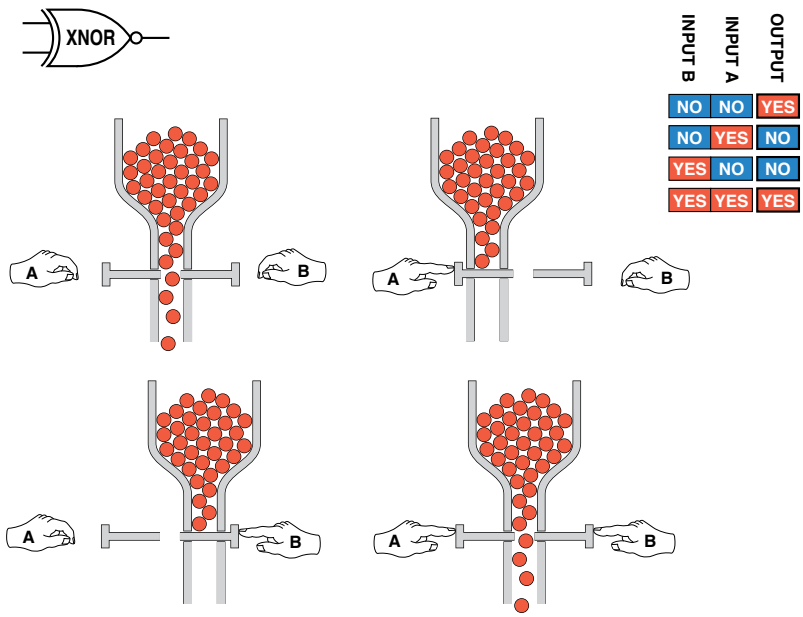


Abbildung 4-63

HINTERGRUNDWISSEN

Die verwirrende Welt von TTL und CMOS

In den 1960er Jahren wurden die ersten Logikgatter mit »Transistor-Transistor-Logik«, kurz TTL hergestellt. Dabei wurden kleinste Bipolartransistoren in eine einzige Siliziumscheibe geätzt. Bald gab es auch CMOS-Chips (»Complementary Metal Oxide Semiconductors«, dt. »komplementärer Metall-Oxid-Halbleiter«). Jeder dieser Chips war eine Gruppe von Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistoren (MOSFETs). Der 4026-Chip, den du schon benutzt hast, ist ein alter CMOS-Chip.

Du erinnerst dich vielleicht daran, dass Bipolartransistoren Ströme verstärken. TTL-Schaltkreise sind ähnlich: Sie reagieren auf die Stromstärke, nicht die Spannung. Daher benötigen sie einen deutlichen Stromfluss, um zu funktionieren. CMOS-Chips funktionieren dagegen wie der programmierbare Unijunctiontransistor, den wir schon hatten. Sie sind spannungsgesteuert, so dass sie kaum Strom verbrauchen, wenn sie auf ein Signal warten oder nach einer Signalabgabe pausieren.

Die zwei Familien namens TTL und CMOS existieren heute immer noch. Die Tabelle in Abbildung 4-64 fasst ihre wichtigsten Vor- und Nachteile zusammen. Die CMOS-Serie mit den Teilenummern ab 4000 war durch statische Elektrizität leicht zu beschädigen, aber wegen ihrer geringeren Stromaufnahme auch wertvoller. Die TTL-Serie mit den Teilenummern ab 7400 verbrauchte viel mehr Strom, war aber weniger empfindlich und dazu schneller. Wenn du also einen Computer bauen wolltest, hast du die TTL-Familie benutzt, aber wenn du ein kleines Gerät bauen wolltest, dass wochenlang mit einer kleinen Batterie auskommen sollte, kam die CMOS-Familie zum Einsatz.

Ab diesem Moment wurde alles ziemlich verwirrend, weil CMOS-Hersteller ihren Marktanteil vergrößern wollten, indem sie die Vorteile von TTL-Chips nachbildeten. Neuere Generationen von CMOS-Chips hatten sogar neue Teilenummern, die mit »74« anfingen, um die Kompatibilität zu betonen. Auch die Funktionen der Pins von CMOS-Chips wurden vertauscht, um den Funktionen der Pins von TTL-Chips zu entsprechen. Dadurch sind die Pinbelegungen von CMOS- und TTL-Chips heute in der Regel identisch, aber die Bedeutung von »high«- und »low«-Zuständen änderte sich in jeder Generation und die maximale Versorgungsspannung für CMOS-Chips wurde herabgesetzt. Die Fragezeichen, die ich neben zwei Punkten in der CMOS-Spalte gemacht habe, weisen darauf hin, dass moderne CMOS-Chips diese Nachteile bis zu einem gewissen Grad nicht mehr haben.

Es folgt eine kurze Zusammenfassung, die dir helfen wird, wenn du dir eine Schaltung im Internet ansiehst und dir die angegebenen Chips nicht ganz klar sind.

Der Buchstabe »x« bedeutet hier immer, dass an dieser Stelle verschiedene Zahlen stehen können. Daher beinhaltet »74xx« das NAND-Gatter 7400, das NOR-Gatter 7402, den 16-Bit-Multiplexer 74150 usw. Eine Buchstabenkombination vor der »74« weist auf den Chiphersteller hin. Buchstaben am Ende der Teilenummer weisen auf die Gehäuseform oder auf umweltschädliche Schwermetalle hin, oder geben andere Details an.

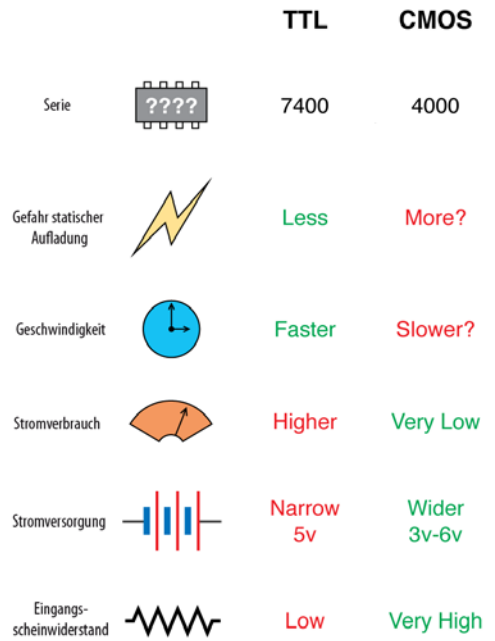


Abbildung 4-64. *Die wichtigsten Unterschiede zwischen den zwei Familien von Logikchips. In späteren Generationen sind diese Unterschiede nach und nach verschwunden.*

TTL-Familie:

74xx
: Die erste Generation, heute veraltet.

74Sxx
: Schnellere »Schottky«-Serie, heute veraltet

74LSxx
: Low-Power-Schottky-Serie, wird gelegentlich noch eingesetzt.

74ALSxx
: Low-Power-Advanced-Schottky.

74Fxx
: Schneller als die ALS-Serie.

HINTERGRUNDWISSEN

Die verwirrende Welt von TTL und CMOS (Fortsetzung)

CMOS-Familie:

40xx
: Die erste Generation, heute veraltet.

40xxB
: Die 4000B-Serie war eine Verbesserung aber immer noch anfällig für Beschädigungen durch statische Elektrizität. Viele Hobbyschaltungen benutzen diese Chips immer noch, weil sie mit relativ hohen Spannungen laufen und LEDs und sogar kleine Relais direkt ansteuern können.

74HCxx
: High-Speed-CMOS, mit Teilenummern und Pinbelegungen, die zur TTL-Familie passen, aber mit Ein- und Ausgangsspannungen, die nicht ganz identisch sind wie bei TTL. Ich habe diese Generation in diesem Buch ausgiebig benutzt, weil sie überall erhältlich ist und die Schaltungen im Buch nicht mehr Geschwindigkeit oder Leistung brauchen.

74HCTxx
: Wie die HC-Serie, aber mit zu TTL passenden Spannungen.

74ACxx
: Verbesserte Version der HC-Serie. Schneller mit höherer Ausgangskapazität.

74ACTxx
: Wie die AC-Serie, aber mit denselben Pinbelegungen und Spannungen wie TTL.

74AHCxx
: Verbesserte schnellere Version.

74AHCTxx
: Wie die AHC-Serie, aber mit denselben Pinbelegungen und Spannungen wie TTL.

74LVxx
: Versionen mit niedrigerer Spannung (3,3 V), dazu die Serien LV, LVC, LVT und ALVC.

Wie du siehst, musst du die Teilenummern inzwischen sehr sorgfältig auseinanderhalten. Aber welche Familie und Generation von Chips solltest du benutzen? Das kommt immer drauf an! Hier sind einige Richtlinien:

Was du nicht brauchst:

1. Geschwindigkeitsunterschiede sind für uns irrelevant, weil wir keine Schaltungen bauen, die mit Millionen von Zyklen pro Sekunde laufen.
2. Die Preisunterschiede sind so klein, dass sie unbedeutend sind.
3. CMOS-Chips für niedrigere Spannung (»lower Voltage«, LV) sind für unsere kleinen experimentellen Schaltungen uninteressant.
4. Vermeide es, in einer Schaltung Chips aus verschiedenen Familien und verschiedenen Generationen einer Familie zu verwenden. Sie könnten inkompatibel sein.
5. Einige moderne Chipvarianten sind nur im SMD-Format (zur Oberflächenmontage) verfügbar. Weil man damit viel schwieriger arbeiten kann und ihr einziger Vorteil die geringe Größe ist, rate ich davon ab.
6. In der TTL-Familie können die LS- und ALS-Serien keinen so hohen Ausgangsstrom wie die S- und F-Serien bereitstellen. Du solltest sie meiden.

Was du benutzen solltest:

1. Die alte 74LSxx-Serie von TTL-Chips war so beliebt, dass du immer noch Schaltpläne findest, die diese Chips angeben. Du solltest sie immer noch online kaufen können, aber falls nicht, kannst du stattdessen auch die 74HCTxx-Chips benutzen, die identisch funktionieren.
2. Die alte 4000B-Serie von CMOS-Chips wird von Bastlern immer noch eingesetzt, weil die Toleranz für hohe Spannungen sehr nützlich ist. TTL- und TTL-kompatible Chips benötigen genau geregelte 5 Volt, die 4000B-Chips kommen auch mit 15 Volt zurecht und liefern genug Leistung für LEDs und Miniaturrelais. Einige Anwender hegen aus nostalgischen Gründen eine Vorliebe für die 74Cxx-Serie, die dieselben Pinbelegungen wie TTL-Chips hatte, aber immer noch höhere Spannungen und einen stärkeren Ausgangsstrom tolerierte. Das Problem ist, dass einige 74Cxx-Chips fast nicht mehr zu bekommen sind. Dagegen sind 4000B-Chips immer noch erhältlich, werden aber als veraltet angesehen.

HINTERGRUNDWISSEN

Die verwirrende Welt von TTL und CMOS (Fortsetzung)

Im Endeffekt schlage ich vor, dass du die 4000B-Chips nur benutzt, wenn du eine alte Schaltung nachbauen willst oder wenn ein modernes Äquivalent nicht erhältlich ist. (Daher habe ich für den Reaktionstimer den 4026B-Chip angegeben: Ich habe keinen entsprechenden modernen Chip gefunden, um Sieben-Segment-Anzeigen direkt anszusteuern. Ich wollte auch nicht, dass du mit mehr Teilen arbeiten musst als nötig.)

Wenn du online nachsiehst, wirst du herausfinden, dass die HC-Familie mit Abstand die beliebteste ist. Alle Chips sind in DIP-Gehäusen erhältlich (so dass sie auf dein Steckbrett und Lochrasterplatinen passen). Sie haben den für CMOS typischen hohen Eingangswiderstand (was nützlich ist) und dieselbe Pinbelegung wie die alte 74LSxx-Serie.

Abkürzungen

Wenn du Datenblätter liest, stolperst du wahrscheinlich über folgende Abkürzungen:

- VOH min: Minimum output voltage in high state (Minimale Ausgangsspannung im high-Zustand)
- VOL max: Maximum output voltage in low state (Maximale Ausgangsspannung im low-Zustand)
- VIH min: Minimum input voltage to be recognized as high (Minimale Eingangsspannung, die als High-Pegel erkannt wird.)
- VIL max: Maximum input voltage recognized as low (Maximale Eingangsspannung, die als Low-Pegel erkannt wird.)

HINTERGRUNDWISSEN

Die Ursprünge von Logikgattern

Die 7400er-Familie von integrierten Schaltkreisen wurde von Texas Instruments eingeführt, beginnend mit dem NAND-Gatter 7400 im Jahre 1962. Andere Hersteller hatten vorher schon Logikchips verkauft, aber die 7400-Serie wurde der Marktführer. Bei den Apollo-Mondmissionen wurde ein Computer eingesetzt, der aus 7400-Chips gebaut wurde, und viele der Minicomputer der 1970er Jahre basierten auf den Chips.

RCA führte seine 4000er-Serie von Logikchips, die auf CMOS-Transistoren basierten, 1968 ein; Texas Instruments hatte sich für TTL entschieden. Die CMOS-Chips verbrauchten weniger Strom, erzeugten dadurch auch weniger Wärme und ermöglichten ein flexibles Schaltungsdesign, da jeder Chip viele andere versorgen konnte. CMOS war auch hinsichtlich des Spannungsbereichs toleranter (von 3 bis 15 Volt), konnte aber nicht schneller schalten als ca. 1 MHz. TTL war zehnmal schneller.

Änderungen am Design ermöglichten nach und nach auch CMOS höhere Taktrate. Außerdem sind TTL-Chips relativ selten geworden. Trotzdem hegen einige Leute noch eine nostalgische Vorliebe für »die Logikgatter, die zum Mond geflogen sind«. Ein Vollblut-Fan namens Bill Buzbee hat einen ganzen Webserver aus 7400-Chips in TTL-Bauweise gebaut, der online unter *http://magic-1.org* zu finden ist. Abbildung 4-65 zeigt nur eine der handgemachten Platinen, die Bill für seinen Computer zusammengebaut hat.

Abbildung 4-65. *Der Bastler Bill Buzbee hat sich einen Webserver gebaut, der nur aus Logikchips der 7400er-Serie besteht, von denen der älteste 1969 hergestellt wurde. Der Webserver ist online unter http://magic-1.org zu finden, wo man entsprechende Bilder und Details seines Aufbaus sehen kann. Das Foto, das Bill geschossen hat, zeigt nur eine der Platinen dieses bemerkenswerten Projekts.*

GRUNDLAGEN

Oft benutzte Logikchips

Jeder Chip mit 14 Pins kann vier Gatter mit zwei Eingängen, drei Gatter mit drei Eingängen, zwei Gatter mit vier Eingängen, ein Gatter mit acht Eingängen oder sechs Inverter mit je einem Eingang enthalten, wie die folgende Tabelle zeigt.

	2 Eingänge	3 Eingänge	4 Eingänge	8 Eingänge
AND	7408	7411	7421	
NAND	7400	7410	7420	7430
OR	7432			744078*
NOR	7402	7427		744078*
XOR	7486			
XNOR	747266			
Inverter	(1 Eingang) 7404			

*Der 744078 hat einen OR-Ausgang und einen NOR-Ausgang auf demselben Chip.

Die Abbildungen 4-66 bis 4-74 zeigen die internen Verbindungen der Logikchips, die du am wahrscheinlichsten brauchen wirst. Beachte, dass beim NOR-Gatter 7402 die logischen Ein- und Ausgänge anders als bei den anderen Chips angeordnet sind.

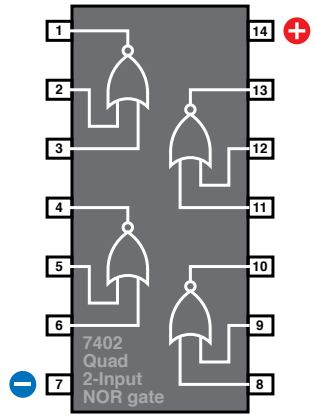


Abbildung 4-66. *Die Abbildungen 4-66 bis 4-74 zeigen die Belegungen der Pins einiger am meisten benutzten Logikchips. Beachte, dass die Eingänge des 7402 im Vergleich mit den anderen Chips vertauscht sind.*

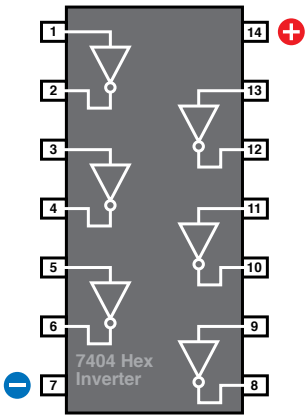


Abbildung 4-67

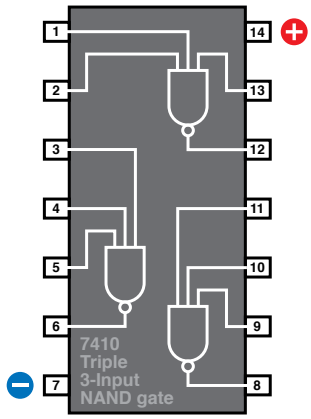


Abbildung 4-68

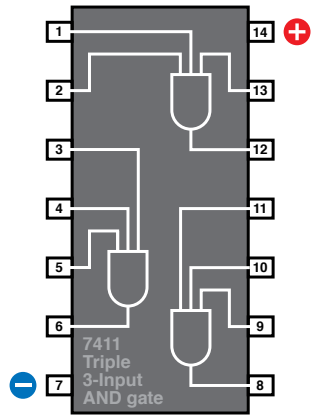


Abbildung 4-69

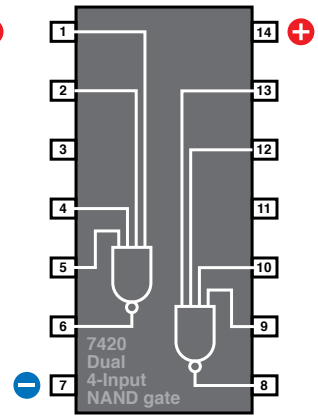


Abbildung 4-70

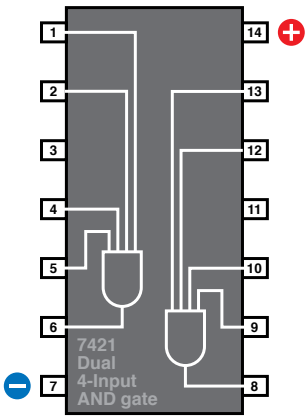


Abbildung 4-71

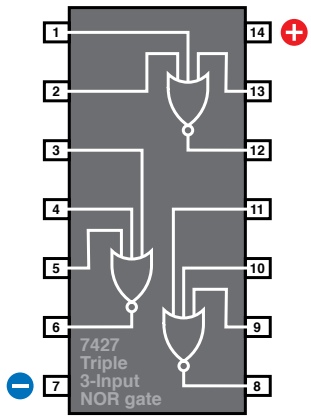


Abbildung 4-72

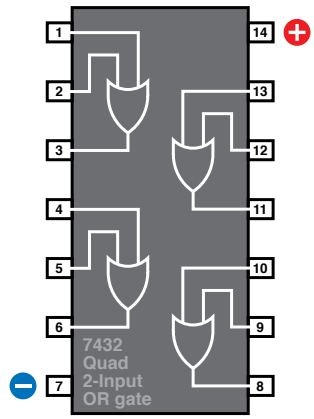


Abbildung 4-73

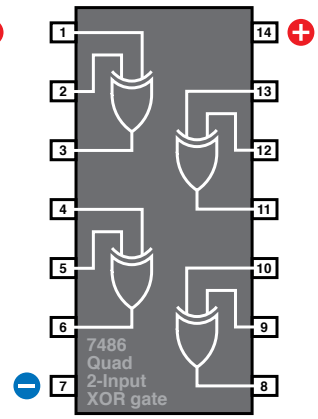


Abbildung 4-74

GRUNDLAGEN

Regeln zur Verbindung von Logikgattern

Erlaubt:

- Du kannst den Eingang eines Gatters direkt an deine geregelte Stromquelle anschließen, sowohl an den Plus- als auch an den Minuspol.
- Du kannst den Ausgang eines Gatters direkt an den Eingang eines anderen Gatters anschließen.
- Der Ausgang eines Gatters kann die Eingänge von vielen anderen Gattern versorgen (das wird als »fanout«, Ausfächerung, bezeichnet). Das genaue Verhältnis hängt vom Chip ab, aber du kannst immer mindestens zehn Eingänge mit einem logischen Ausgang versorgen. Der Ausgang eines Logikchips kann den Trigger (Pin 3) eines 555-Timers auslösen. Der Ausgang des Timers kann dann 100 mA liefern, was problemlos für ein halbes Dutzend LEDs oder ein kleines Relais reicht.
- Ein Low-Pegel am Eingang bedeutet nicht Null. Ein 74HCxx-Logikgatter erkennt jede Spannung bis zu 1 Volt als »low«.
- Ein High-Pegel am Eingang muss nicht 5 Volt sein. Ein 74HCxx-Logikgatter erkennt jede Spannung über 3,5 Volt als »high«.

Siehe die Abbildungen 4-75 und 4-76 für einen Vergleich von erlaubten Spannungen an den Ein- und Ausgängen von 74HCxx- und 74LSxx-Chips.

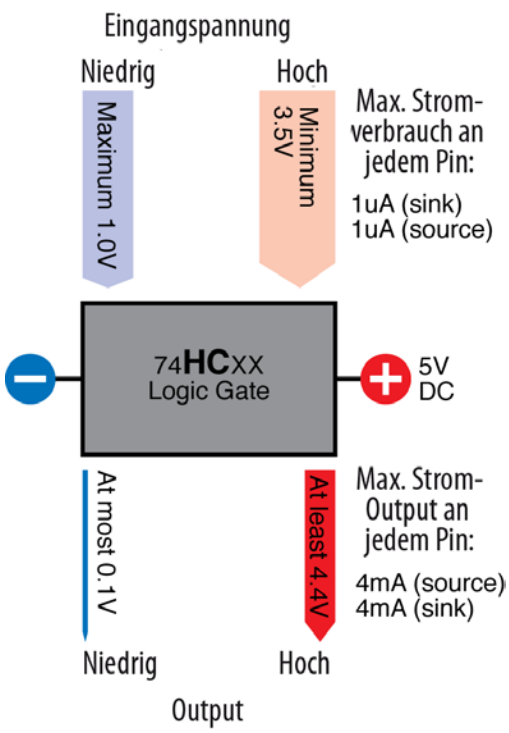


Abbildung 4-75. *Jede Familie von Logikchips und jede Generation in jeder Familie hat unterschiedliche Standards für die minimalen und maximalen Spannungen an Ein- und Ausgängen. Dieses Diagramm zeigt den Standard, dem die HC-Generation der CMOS-Familie folgt, die für die meisten Projekte in diesem Buch ausgewählt wurde. Beachte, dass der für den Eingang notwendige Strom im Vergleich zum Strom, der am Ausgang bereit steht, minimal ist. Die Stromversorgung des Chips macht hier den Unterschied.*

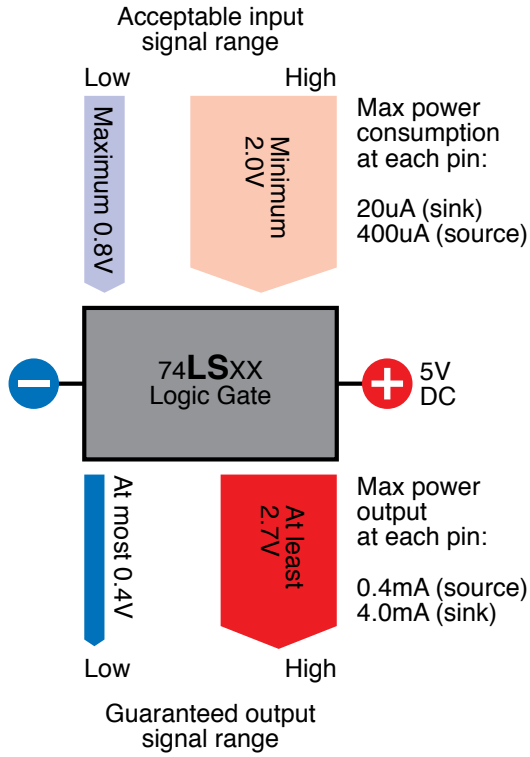


Abbildung 4-76. *Weil die LS-Generation der TTL-Familie Toleranzen für die Eingangsspannungen und Standards für die Ausgangsspannungen hat, die sehr stark abweichen, sollte die LS-Generation der TTL-Chips nicht in derselben Schaltung benutzt werden wie die HC-Generation der CMOS-Chips. Anderenfalls musst du pull-up-Widerstände benutzen, um die LS-Chips mit den Standards, die von den HC-Chips erwartet werden, in Einklang zu bringen. Siehe Experiment 21 für eine Fallstudie zum Einsatz von LS-Chips.*

GRUNDLAGEN

Regeln zur Verbindung von Logikgattern (Fortsetzung)

Nicht erlaubt:

- Keine Pins mit schwebenden Eingang! Bei CMOS-Chips wie der HC-Familie musst du immer alle Pins mit einer bekannten Spannung verbinden, auch wenn sie zu einem Gatter im Chip führen, das du nicht benutzt. Wenn du einen einfachen Schalter benutzt, um einen Eingang zu steuern, vergiss nicht, dass er in der »Aus«-Stellung den Eingang offen lässt. Verhindere diese Situation, indem du einen pull-up- oder pull-down-Widerstand benutzt. Siehe Abbildung 4-77.

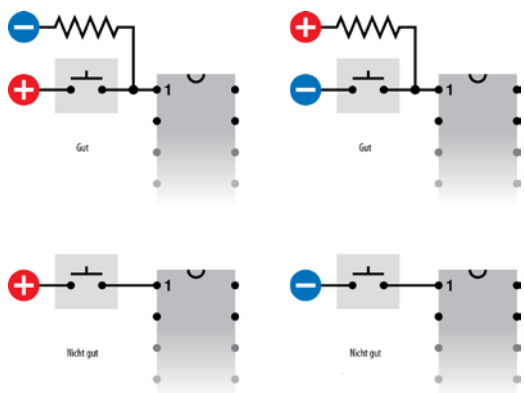


Abbildung 4-77. *Weil ein CMOS-Chip so empfindlich auf schwankende Eingangssignale reagiert, sollte ein logischer Eingang nie »schweben«, also nie ohne Verbindung zu einer festgelegten Spannungsquelle sein. Das bedeutet, dass ein einfacher Schalter oder Taster zusammen mit einem pull-up- oder pull-down-Widerstand benutzt werden sollte, so dass der Eingangspegel festgelegt ist, auch wenn der Kontakt geöffnet ist.*

- Benutze keine ungeregelte Stromversorgung oder mehr als 5 Volt, um 74HCxx- oder 74LSxx-Logikgatter zu versorgen.
- Sei vorsichtig, wenn du den Ausgang eines Logikgatters benutzt, auch wenn nur eine Low-Current-LED versorgt werden soll. Sieh nach, wie viel Milliampere aufgenommen werden. Sei auch vorsichtig, wenn du den Ausgang von einem Logikgatter aufteilst, indem du gleichzeitig eine LED und dein Eingang eines anderen Gatters anschließt. Die LED kann die Ausgangsspannung so weit herunterziehen, dass das andere Gatter sie nicht mehr erkennt. Überprüfe immer die Ströme und Spannungen, wenn du eine Schaltung änderst oder neu aufbaust.
- Lege niemals deutlich messbare Spannungen oder Ströme an den Ausgangspin eines Logikgatters an. Anders gesagt, zwinge niemals ein Eingangssignal in einen Ausgang.
- Verbinde nie die Ausgänge von zwei oder mehr Logikgattern. Wenn sich mehrere Logikgatter eine gemeinsame Ausgangsverbindung teilen, benutze Dioden, um sie voreinander zu schützen. Siehe Abbildung 4-78..

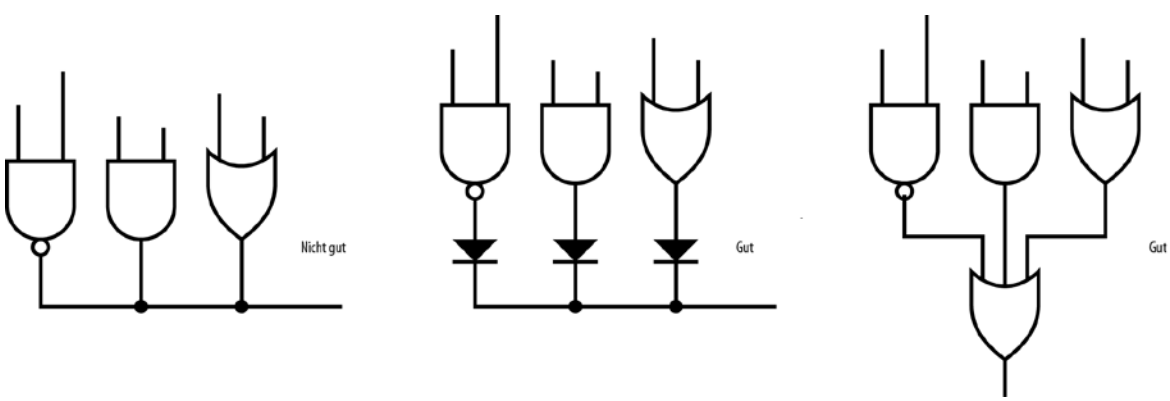


Abbildung 4-78. *Der Ausgang eines Logikgatters darf nicht zurück in den Ausgang eines anderen Logikgatters geführt werden. Die Ausgänge können mit Dioden voneinander isoliert oder mit einem weiteren Gatter verbunden werden.*

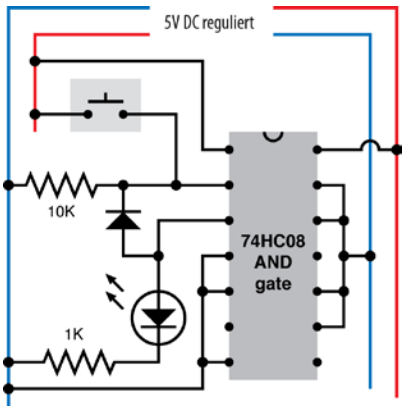


Abbildung 4-79. *Mit einer Diode kann man den logischen Ausgang eines Gatters zurück in eines seiner Eingänge leiten, so dass das Gate nach einem kurzen logischen Eingangsimpuls offen bleibt.*

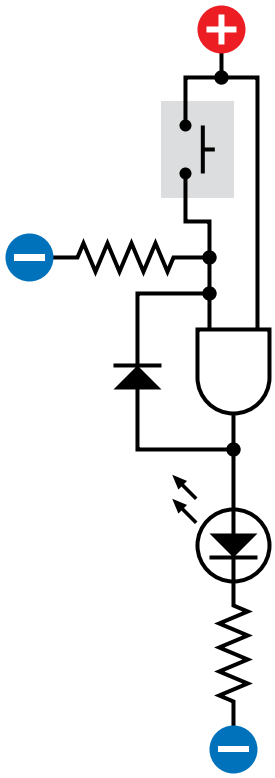


Abbildung 4-80. *Der Schaltplan im Steckbrett-Format wurde hier vereinfacht, um deutlicher zu zeigen, wie sich ein Gatter nach dem Erhalt eines Eingangsimpulses selbst in einem Zustand hält.*

In der Familie der 74HCxx-Logikchips verbraucht jeder Eingang eines Logikgatters nur ein Mikroampere, dagegen kann der Output bis zu 4 Milliampere liefern. Das klingt paradox: Wie kann der Chip mehr abgeben, als er aufnimmt? Die Antwort besteht darin, dass er auch Strom von der Stromversorgung an den Pins 7 und 14 verbraucht. Von dort kommt die zusätzliche Elektrizität.

Weil die logische Ausgabe eines Chips größer als seine logischen Eingangssignale sein kann, können wir den Chip auch in einen Zustand versetzen, in dem er sich selbst im Einschaltzustand hält, ähnlich dem Zustand in dem sich das Relais in der Alarmanlage selbst gehalten hat. Am einfachsten geht das mit Logikchips, indem man Teile des Ausgangssignals wieder in einen der Eingänge einspeist.

Abbildung 4-79 zeigt ein AND-Gatter, bei dem einer der Eingänge auf positiv gelegt wurde und der andere Eingang von einem pull-down-Widerstand unten gehalten wird, vom Taster aber auch auf High-Pegel gezogen werden kann. Eine Signaldiode verbindet den Ausgang des Chips wieder mit dem Eingang, an dem der Taster hängt. Beachte, dass die Diode eine Markierung an dem Ende hat, das mit dem *Minuspol* der der Stromversorgung verbunden wird, in diesem Fall dem Ende des 10 kΩ-Widerstands.

Der Schaltplan in Abbildung 4-79 zeigt, wie die Schaltung auf einem Steckbrett verbunden wird. Abbildung 4-80 zeigt eine vereinfachte Form.

> *Ab dieser Stelle werde ich nicht mehr den Spannungsregler und die dazugehörigen Kondensatoren zeigen. Achte nur darauf, dass du sie immer verwendest, wenn an der Stromquelle »5 Volt= geregelt« steht.*

Wenn du den Strom einschaltest, ist die LED aus, genau wie vorher auch. Das AND-Gatter braucht eine positive Spannung an beiden logischen Eingängen, um ein positives Ausgangssignal zu erzeugen. Im Moment hat es aber nur auf einem Eingang eine positive Spannung. Der andere Eingang wird vom 10-kΩ-Widerstand negativ gehalten. Wenn du jetzt auf den Taster drückst, geht die LED an. Wenn du den Taster wieder loslässt, bleibt die LED eingeschaltet, weil der positive Ausgang des AND-Gatters zurück durch die Diode geleitet wird und ausreicht, um die negative Spannung zu übersteuern, die durch den pull-up-Widerstand kommt.

Der Ausgang des AND-Gatters versorgt seinen eigenen Eingang, so dass die LED eingeschaltet bleibt, bis wir die Verbindung unterbrechen. So kann man eine einfache Halteschaltung (engl. »latch«) aufbauen, die noch nützlich sein kann, wenn wir ein Ausgangssignal brauchen, das weitergeht, nachdem der Benutzer einen Taster gedrückt und wieder losgelassen hat.

Du kannst nicht einfach den Ausgang des Gatters über ein Stück Draht mit einem der Eingänge verbinden, weil dies ermöglichen würde, dass positive Spannung vom Taster um das Gatter herum fließen und das Ausgangssignal stören könnte. Merke dir, dass du nie Spannungen an den Ausgangspin eines Logikgatters anlegen darfst. Die Diode ist dazu da, um dies zu verhindern.

Wenn du die Grundlagen von Logikgattern verstanden hast, bist du jetzt in der Lage, unser erstes richtiges Projekt zu beginnen, bei dem wir das bisher Gelernte umsetzen.

Experiment 20: Eine starke Kombination

Stell dir vor, du willst andere Leute davon abhalten, deinen Computer zu benutzen. Da fallen mir zwei Möglichkeiten ein: Man benutzt Software oder Hardware. Als Software würde man eine Art Startprogramm benutzen, dass das normale Hochfahren unterbricht und ein Passwort verlangt. Das kann man so machen, ich glaube aber, dass es mehr Spaß macht (und besser zum Buch passt), wenn man dieses Ziel mit Hardware umsetzt. Ich stelle mir da eine Zifferntastatur vor, auf der der Benutzer eine geheime Kombination eingeben muss, bevor man den Computer einschalten kann.

Das brauchst du:

- Ziffernblock. Wie auf dem Einkaufszettel am Anfang des Kapitels beschrieben wurde, muss dieser einen »gemeinsamen Anschluss« haben. Das Schaltbild in Abbildung 4-82 veranschaulicht dies. Im Inneren der Tastatur ist ein Leiter (den ich hier rot dargestellt habe, damit man ihn erkennen kann) mit der einen Seite aller Tasten verbunden. Dieser Leiter ist allen Tasten »gemeinsam«. Am unteren Ende der Tastatur werden alle Leitungen als Platinenanschluss oder Reihe von Pins herausgeführt (im Schaltplan gelb gezeichnet).

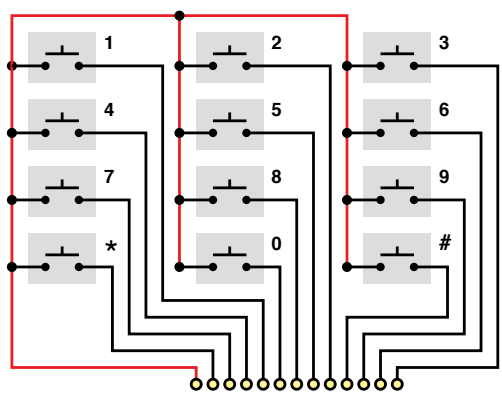


Abbildung 4-82. *Ein Ziffernblock, wie er für Experiment 20 gebraucht wird, beinhaltet einen gemeinsamen Anschluss, der an eine Seite von jeder der zwölf Tasten führt. Die Verbindung vom gemeinsamen Anschluss ist hier rot eingezeichnet, damit man ihn einfacher erkennen kann.*

- Ziffernblöcke, die so genannte »Matrixtastaturen« sind, funktionieren nicht mit der Schaltung, die ich beschreiben werde. Wenn du die empfohlene Tastatur nicht besorgen kannst, kannst du auch zwölf einzelne einpolige Taster benutzen. Das wird vermutlich etwas teurer sein.
- 74HC08-Logikchip mit vier AND-Gattern. Anzahl: 1.
- 74HC04-Logikchip mit sechs Invertern. Anzahl: 1.
- 555-Timerchip. Anzahl: 1.
- Haftrelais, 5 Volt, zweipolig, Schließer oder Wechsler, Gehäuseform »2 form C«. Panasonic DS2E-SL2-DC5V oder ähnlich. Es muss zwei getrennte Spulen mit getrennten Eingängen haben (eine zum Schließen, eine zum Öffnen). Anzahl: 1.

Die Sache mit der Garantie

Wenn du dieses Projekt bis ganz zu Ende durchführst, öffnest du deinen PC, schneidest einen Draht durch und sägst ein Loch in das Gehäuse. Dadurch verfällt ohne Zweifel deine Garantie. Wenn dich das nervös macht, gibt es drei Möglichkeiten:

1. Bau die Schaltung zum Spaß auf und belasse es dabei.

2. Benutze den Ziffernblock mit einem anderen Gerät.

3. Benutze einen alten Computer.

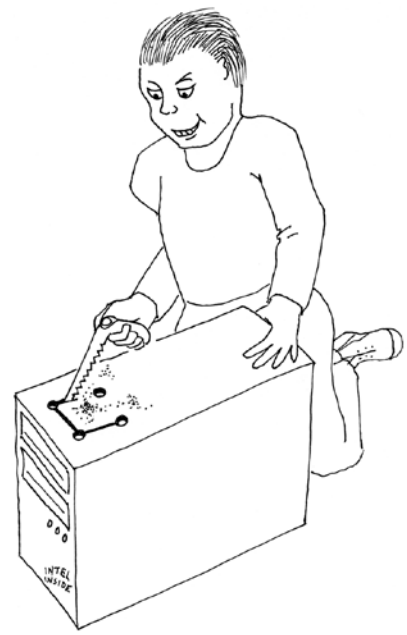


Abbildung 4-81. *Vorsicht: Dadurch erlischt sicher deine Garantie.*

- Standard-LEDs, 5mm, Farbe nach Wahl. Anzahl: 3.
- Flachbandkabel mit mindestens sechs Adern, wenn du willst, dass es wirklich gut aussieht. Du kannst auch ein Kabel nehmen, mit dem man Festplatten anschließt, und davon sechs Adern abziehen, oder bei eBay nach einem entsprechenden Kabel suchen.
- Werkzeug, um deinen Computer zu öffnen, vier Löcher zu bohren und zwischen den Löchern auszusägen, um eine eckige Öffnung für den Ziffernblock zu schaffen (wenn du diese Schaltung auch einsetzen willst). Außerdem vier kleine Schrauben, um den Ziffernblock mit dem Computergehäuse zu verschrauben, nachdem du die Öffnung ausgesägt hast.

Der Schaltplan

Diesmal möchte ich, dass du dir zuerst den Schaltplan ansiehst, bevor du anfängst, etwas aufzubauen. Wir fangen mit der vereinfachten Version in Abbildung 4-83 an.

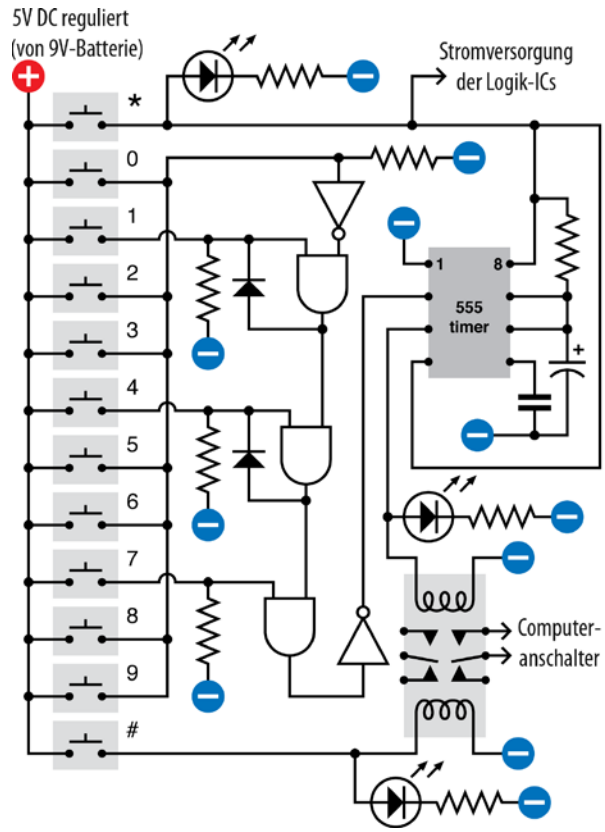


Abbildung 4-83. *Ein vereinfachter Schaltplan, der die Grundstruktur der Schaltung des Zahlenschlosses zeigt.*

Ich möchte diese Schaltung mit einer Batterie betreiben, damit du nicht ein zusätzliches Netzteil brauchst oder (noch schlimmer) versuchst, den 5-Volt-Bus deines Computers anzuzapfen. Batteriebetrieb bedeutet, dass die Schal-

tung die meiste Zeit ausgeschaltet sein muss, damit die Batterie nicht schnell wieder leer ist. Da der Ziffernblock zwei zusätzliche Tasten hat (Stern und Raute), werde ich den Stern als Einschalter benutzen. Wenn du darauf drückst, leuchtet die LED am oberen Rand des Schaltplans zur Bestätigung auf. Die Taste schickt dann den Strom an die zwei Logikchips und den 555-Timer. Du musst die Stern-Taste gedrückt halten, während du den dreistelligen Code zur Freigabe des Computers eingibst.

Ich habe die beliebige Zahlenfolge 1-4-7 als dreistelligen Code ausgesucht. Wir verfolgen jetzt, was passiert, wenn man diese Folge eingibt. (Wenn du die Schaltung baust, kannst du natürlich eine beliebige andere Folge von drei Zahlen nehmen.)

Wenn du die Taste 1 drückst, wird positive Spannung an einen logischen Eingang des ersten AND-Gatters geschickt. Der andere logische Eingang dieses Gatters ist auch positiv, weil er von einem Inverter versorgt wird und der Eingang des Inverters durch einen pull-down-Widerstand negativ gehalten wird. Wenn ein Inverter ein negatives Eingangssignal hat, gibt er ein positives Ausgangssignal ab. Ein Druck auf die Taste 1 aktiviert also das AND-Gatter und schaltet dessen Ausgang positiv. Das AND-Gatter hält sich selbst in diesem Zustand, weil sein Ausgang über eine Diode wieder an den Eingang geleitet wird. Also bleibt der Ausgang des Gatters auf einem High-Pegel, auch wenn man die Taste 1 wieder loslässt.

Der Ausgang des ersten AND-Gatters versorgt auch einen logischen Eingang des zweiten AND-Gatters. Wenn du die Taste 4 drückst, sendest du eine positive Spannung an den anderen logischen Eingang dieses AND-Gatters, so dass dessen Ausgang auf einen High-Pegel wechselt und es sich in diesem Zustand hält, genau wie das erste Gatter.

Das zweite AND-Gatter versorgt das dritte AND-Gatter. Wenn du die Taste 7 drückst, wechselt der Ausgangspegel des dritten AND-Gatters von low auf high. Das Signal geht durch einen Inverter, so dass der Ausgangspegel des Inverters von high auf low fällt. Dieses Signal geht an den Trigger des 555-Timers, der so verbunden wurde, dass er im monostabilen Modus läuft.

Wenn der Trigger eines 555-Timers vom High-Pegel auf low fällt, gibt der Timer einen positiven Impuls durch seinen Ausgang, Pin 3, ab. Dieser Impuls läuft durch die obere Spule des Haftrelais und lässt auch eine LED blinken, um zu bestätigen, dass der Code akzeptiert und das Relais aktiviert wurde.

Zwei der Kontakte des Relais sind mit dem Einschaltknopf deines Computers verbunden. Ich erkläre gleich noch, warum das bei jedem modernen Computer ohne Gefahr möglich ist.

Weil wir ein Haftrelais benutzen, schaltet es in seinen »An«-Zustand und bleibt darin, auch wenn der Stromimpuls des Timers vorbei ist. Du kannst jetzt also die Stern-Taste loslassen, um die Batterie vom Zahlenschloss zu trennen und den Einschaltknopf deines Computers drücken.

Wenn du mit der Arbeit fertig bist, schalte deinen Computer ganz normal aus und drücke dann auf die Raute-Taste, die das Relais wieder in die andere Schaltstellung zurückschaltet und das Zahlenschloss reaktiviert.

Falscheingabe

Was passiert, wenn du den falschen Code eingibst? Wenn du eine der Tasten drückst, die nicht 1, 4 oder 7 sind, sendet diese eine positive Spannung an den Inverter oben im Schaltplan. Die positive Spannung übersteuert die negative Spannung, die durch den pull-down-Widerstand am Inverter anliegt, und sorgt dafür, dass der Inverter eine negative Spannung abgibt, die an einen der logischen Eingänge des ersten AND-Gatters geleitet wird. Wenn das AND-Gatter sich selbst gehalten hatte, schaltet der negative Eingang es ab. Wenn es das zweite AND-Gatter versorgt hatte, wird das ebenfalls abgeschaltet.

Daher wird jeder Fehler bei der Eingabe der ersten, zweiten oder dritten Ziffer des Geheimcodes die AND-Gatter zurücksetzen und du musst die Zahlenfolge erneut eingeben.

Was passiert, wenn du 1, 4 und 7 in der falschen Reihenfolge eingibst? Die Schaltung reagiert darauf nicht. Das dritte AND-Gatter braucht ein high-Eingangssignal, das vom zweiten AND-Gatter geliefert wird und das zweite AND-Gatter brauch ein high-Eingangssignal, das vom ersten AND-Gatter geliefert wird. Du musst also alle AND-Gatter in der richtigen Reihenfolge aktivieren.

Fragen

Warum habe ich einen 555-Timer benutzt, um den Impuls an das Relais zu geben? Weil der logische Ausgang eines AND-Gates nicht genügend Strom liefert. Ich hätte den Impuls durch einen Transistor geben können, aber ich halte es für eine gute Idee, einen Impuls einer definierten Länge zu haben, um das Relais umzuschalten und die LED für ca. eine Sekunde einzuschalten, egal wie kurz der Benutzer die Taste 7 drückt.

Warum brauche ich drei LEDs? Weil du wissen musst, was vor sich geht, wenn du auf die Tasten drückst, um deinen Computer zu entsperren. Die Einschalt-LED zeigt dir, dass die Batterie nicht leer ist. Die Relais-Aktivierungs-LED zeigt dir, dass das System jetzt entsperrt ist, falls du das Relais nicht klicken hören kannst. Die Systemsperrungs-LED bestätigt dir, dass du den Computer wieder gesperrt hast.

Weil alle drei LEDs direkt mit der 5-Volt-Stromversorgung oder vom Ausgang des 555-Timers versorgt werden, müssen es keine Low-Current-LEDs sein. Außerdem können sie einfach mit Vorwiderständen von 330 Ω betrieben werden, damit sie schön hell sind.

Wie verbindest du den Ziffernblock mit der Schaltung? Dafür ist das Flachbandkabel da. Entferne vorsichtig die Isolierung von jedem Leiter und löte sie an die Kontakte an deinem Ziffernblock. Stecke die Drähte am anderen Ende des Kabels in dein Steckbrett (wenn du die Schaltung zum Testen aufbaust) oder löte sie an der Platine fest (wenn du die Schaltung dauerhaft aufbaust). Suche dir eine geeignete Stelle im Computergehäuse, an der du die Platine befestigen kannst. Benutze doppelseitiges Klebeband oder kleine Schrauben oder das, was sich am besten eignet. Setze einen 9-Volt-Batteriehalter dazu und vergiss nicht den Spannungsregler, mit dem die Spannung auf 5 Volt herunter geregelt wird.

Aufbau auf dem Steckbrett

Inzwischen hast du sicher auch selbst festgestellt, dass man auf einem Steckbrett zwar sehr praktisch und zügig einige Bauteile aufbauen und verbinden kann, durch die Anordnung der Verbindungen aber die Bauteile nicht so intuitiv ausgerichtet werden können, wie man es gerne hätte. Wenn du die Schaltung für das Steckbrett in Abbildung 4-83 mit dem vereinfachten Schaltplan in Abbildung 4-84 aufmerksam vergleichst, siehst du, dass die Verbindungen identisch sind.

Wenn du die Schaltung aufgebaut hast und dich fragt, warum nichts passiert, liegt es wahrscheinlich daran, dass du vergessen hast, die Sterntaste gedrückt zu halten.

Damit es einfacher verständlich ist, habe ich die Logikgatter eingezeichnet, die der Chip beinhaltet. Ich habe auch die Stromversorgungsdrähte wie zuvor farbig gezeichnet, damit man sie nicht verwechselt. Der Pluspol deiner Batterie geht nur zum gemeinsamen Anschluss des Ziffernblocks und du musst die Sterntaste drücken, um die Chips mit Strom zu versorgen.

Achte darauf, dass die »falschen« Zahlen auf der Tastatur alle miteinander verbunden sind. Das wird dann unpraktisch, wenn du die Zahlenkombination später einmal ändern willst. Unter der Überschrift »Verbesserungen« schlage ich gleich noch eine andere Möglichkeit dafür vor. Im Moment solltest du im Idealfall jeden Kontakt des Ziffernblocks über einen Draht mit dem Steckbrett verbinden und die »falschen« Zahlen erst dort mit Drahtbrücken verbinden.

Beachte auch, dass du bei einer Testmessung der Eingänge eines AND-Gatters mit deinem Multimeter die empfindlichen CMOS-Eingänge auslösen kannst, wenn du während der Messung die Prüfspitze mit dem Finger berührst, und so möglicherweise eine falsche Messung erhältst.

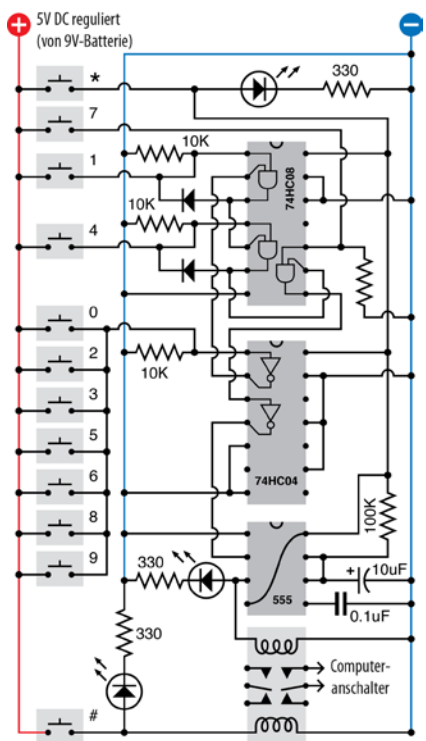


Abbildung 4-84. *Ein neu gezeichneter Schaltplan, der die Bauteile so zeigt, wie sie auf einem Steckbrett aufgebaut werden können.*

Ein kleines Detail: Das Computer-Interface

Alte Computer hatten einen großen Schalter auf der Rückseite, der an der schweren Metallkiste im Computer angeschlossen war, die die Netzspannung in die regulierten Spannungen umwandelte, die der Computer brauchte. Die meisten modernen Computer sind nicht mehr so gebaut. Der Computer bleibt immer eingesteckt und man drückt einen Taste am Gehäuse (bei PCs) oder auf der Tastatur (bei Macs), die einen Impuls mit geringer Spannung an die Hauptplatine sendet.

Aus unserer Sicht ist das ideal, weil wir nicht mit hohen Spannungen hantieren müssen. Denke gar nicht erst daran, die Metallbox mit dem Lüfter zu öffnen, in der das Computernetzteil sitzt. Suche einfach nur nach dem Kabel (bei PCs normalerweise zweiadrig), das vom Einschaltknopf zur Hauptplatine führt.

Um herauszufinden, ob es das richtige Kabel ist, trenne deinen Computer vom Stromnetz, achte darauf, dass du geerdet bist (weil Computer CMOS-Chips enthalten, die empfindlich gegenüber statischer Elektrizität sind) und schneide ganz vorsichtig eine der beiden Adern des Kabels durch. Stecke jetzt deinen Computer ein und probiere den Einschaltknopf aus. Wenn nichts passiert, hast du vermutlich das richtige Kabel durchtrennt. Auch wenn du das falsche Kabel durchgeschnitten hast: Solange dein Computer nicht angeht, hast du dein Ziel erreicht und kannst das Kabel benutzen.

Merke dir, dass wir an diesen Draht keine Spannung anlegen wollen. Wir benutzen nur das Relais als Schalter, um die Leitung, die du getrennt hast, wieder zu schließen. Das sollte nicht schwierig sein, wenn du ruhig und konzentriert bleibst und nach dem Einzelkabel suchst, das den Rechner startet. Suche online nach einer Wartungsanleitung für deinen Computer, wenn du Sorge hast, einen Fehler zu machen.

Wenn du das Kabel gefunden und eine der beiden Adern durchtrennt hast, stecke deinen Computer wieder aus und lasse ihn auch für die nächsten Schritte ausgesteckt.

Suche die Stelle, an der das Kabel an die Hauptplatine angeschlossen ist. Normalerweise kann man den kleinen Stecker abziehen. Markiere dir erst, wie der Stecker eingesteckt ist, damit du ihn später wieder richtig einsetzt. Dann kannst du ihn für die kommenden Schritte abziehen.

Entferne die Isolierung von den zwei Enden des Drahtes, den du durchgeschnitten hast und löte ein weiteres zweiadriges Kabel an die offenen Enden, wie in Abbildung 4-85 zu sehen. Benutze Schrumpfschlauch, um die Lötstellen zu schützen. (Das ist sehr wichtig!)

Führe dein neues Kabel zum Halterelais und achte darauf, dass du die beiden Adern Kontaktpaar anschließt, die verbunden werden, wenn das Relais durch die Codeeingabe erregt wird. Du willst ja nicht den Fehler machen, dass dein Computer entsperrt wird, wenn du ihn sperrst und umgekehrt.

Setze den Stecker, den du von der Hauptplatine abgezogen hattest, wieder darauf, stecke deinen Computer ein und versuche ihn einzuschalten. Wenn nichts passiert, ist das wahrscheinlich ein gutes Zeichen! Jetzt gib die geheime Kombination auf dem Ziffernblock ein (während du die Stern-Taste drückst, um die Schaltung mit Strom zu versorgen) und lausche dem Klicken des Relais. Versuche noch einmal, deinen Computer einzuschalten, und es sollte klappen.

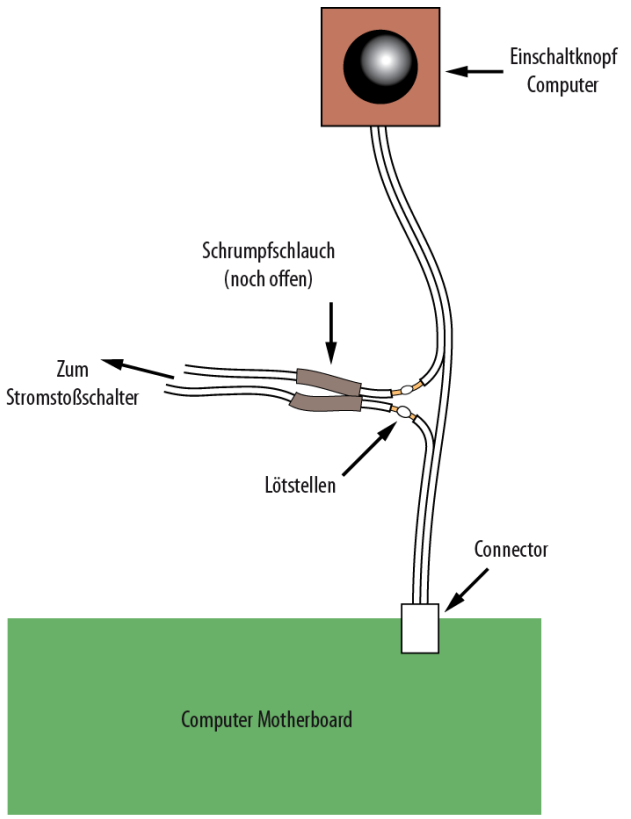


Abbildung 4-85. *Das Zahlenschloss kann an einen normalen PC angeschlossen werden, indem eine Ader im Kabel vom Einschaltknopf durchtrennt und eine Verlängerung daran gelötet wird und die Lötstellen mit Schrumpfschlauch isoliert werden.*

Verbesserungen

Am Ende jedes Projekts gibt es immer noch mehr, das man machen könnte.

Um unser Zahlenschloss noch sicherer zu machen, könntest du die normalen Schrauben, die das PC-Gehäuse verschließen, durch Sicherheitsschrauben ersetzen. Suche einfach online bei einem Händler nach »Sicherheitsschrauben«. Du brauchst dann natürlich auch das passende Werkzeug für die Schraube, so dass du sie festschrauben kannst (und auch wieder lösen, falls dein Sicherheitssystem aus irgendeinem Grund nicht funktioniert.)

Eine andere Verbesserung wäre ein zusätzlicher 555-Timer, der durch die Stern-Taste aktiviert wird und die anderen Chips dann für eine begrenzte Zeit mit Strom versorgt, z.B. 30 Sekunden lang, so dass du mehr Zeit hast, den Code einzugeben. Dann müsste man auch nicht bei der Eingabe die Stern-Taste die ganze Zeit gedrückt halten. Ein 555-Timer kann alle anderen Chips mit Strom versorgen, weil sie nicht sehr viel verbrauchen. Ich habe diese Funktion aus Gründen der Übersichtlichkeit weggelassen.

Noch eine Verbesserung wäre ein vierstelliger Sicherheitscode, wenn du viel Wert auf deine Sicherheit legst. Der 74HC08-Chip hat immerhin noch ein ungenutztes AND-Gatter. Du könntest dies an die Kette der vorhandenen AND-Gatter anhängen und mit noch einer Zifferntaste deiner Wahl verbinden.

Eine Möglichkeit, den Code zu ändern, ohne Drähte umlöten zu müssen, könnte ebenfalls eine Verbesserung darstellen. Du kannst die kleinen Buchsenleisten benutzen, die ich beim Herz-Blinker vorgeschlagen hatte. Damit kannst du die Drähte vom Ziffernblock leicht umstecken.

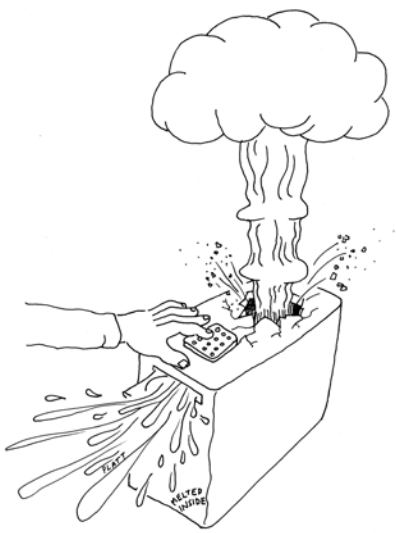


Abbildung 4-86. *Für alle, die wirklich wirklich vollkommen paranoid sind: Ein Selbstzerstörungs- und Kernschmelzesystem, das durch eine geheime Tastenkombination ausgelöst wird, bietet einen verbesserten Schutz gegen Datendiebstahl oder das Eindringen von Agenten der Musikindustrie, die unangenehme Fragen über Tauschbörsen stellen.*

Für alle, die wirklich wirklich vollkommen paranoid sind, könnte man alles so umbauen, dass die Eingabe eines falschen Codes ein zweites Relais umschaltet, das einen stärkeren Strom und eine massive Überlastung schalten kann, die deinen Prozessor schmelzen lässt und einen starken Impuls durch eine Magnetspule schickt, die an deiner Festplatte befestigt ist. Damit würden deine Daten sofort vernichtet (Abbildung 4-86). Es stimmt: Wenn du Daten schützen willst, hat es viele Vorteile, die Hardware direkt anzugehen, anstatt die Daten per Software zu löschen. Es geht schneller, ist schwieriger zu stoppen und löscht die Daten permanent. Wenn bei dir zuhause also der Bundesverband der Musikindustrie klingelt und dich bittet, deinen Computer anzuschalten, damit sie nach illegalem Filesharing suchen können, gib ihnen einfach aus Versehen den falschen Code, entspann dich und warte auf den beißenden Geruch schmelzenden Isoliermaterials.

Wenn du diesem Vorschlag nachgehst, übernehme ich *definitiv* keine Verantwortung für die Folgen.

Realistisch gesprochen ist kein System völlig sicher. Der Wert eines Hardware-Sicherheitssystems liegt darin, dass, wenn es jemand überwindet (indem er z.B. die Sicherheitsschrauben löst oder einfach den Ziffernblock mit einer Blechschere aus dem Gehäuse schneidet), du immerhin weißt, dass es passiert ist. Insbesondere, wenn du auf jede Schraube einen kleinen Tropfen Farbe gibst, um erkennen zu können, dass sich jemand daran zu schaffen gemacht hat. Im Gegensatz dazu erfährst du nie, dass dein System geknackt wurde, wenn du einen Software-Passwortschutz hast und jemand ihn überwindet.

Experiment 21: Einer wird gewinnen

Das nächste Projekt führt uns tiefer in das Prinzip des Feedbacks. Hier wird das Ausgangssignal zurück an den Eingang geführt, in diesem Fall, um ihn zu blockieren. Es ist ein kleines Projekt, aber ziemlich raffiniert, und die Idee dahinter wird dir in Zukunft von Nutzen sein.

Das brauchst du:

- 74HC32-Chip mit vier OR-Gattern. Anzahl: 1
- 555-Timer. Anzahl: 2.
- Kippschalter, einpolig, Umschalter. Anzahl: 1.
- Drucktaster, einpolig. Anzahl: 2.
- Diverse Widerstände
- 5 Volt Versorgungsspannung wie bisher.

Das Ziel

Bei Quizsendungen wie Jeopardy kommt es darauf an, welcher Teilnehmer am schnellsten antwortet. Wer zuerst seinen Antwortknopf drückt, schließt automatisch die anderen Teilnehmer aus, so dass ihre Knöpfe unwirksam werden. Wie können wir eine Schaltung bauen, die genau das macht?

Wenn du online suchst, findest du einige Elektronik-Websites, auf denen andere Leute Schaltungen vorgeschlagen haben, die so funktionieren, aber dort fehlen immer einige Funktionen, die meiner Meinung nach nötig sind. Mein Ansatz hier ist sowohl einfacher als auch ausgeklügelter. Er ist einfacher, weil nur sehr wenige Chips gebraucht werden, andererseits aber auch ausgeklügelter, weil er eine »Quizmaster-Steuerung« hat, die ein realistischeres Spiel ermöglicht.

Ich schlage erst einige Ideen für eine Version mit zwei Spielern vor. Sobald ich dieses Konzept fertig entwickelt habe, zeige ich noch, wie man es auf vier oder noch mehr Spieler erweitern könnte.

Ein Konzeptexperiment

Ich will zeigen, wie so ein Projekt von einer Idee zur fertigen Version heranreift. Wenn ich die Schritte für die Entwicklung einer Schaltung durchgehe, hoffe ich, dass ich dich dazu inspiriere, in Zukunft deine eigenen Ideen zu entwickeln. Dies ist viel mehr wert als nur das nachzubauen, was jemand anderes entwickelt hat. Begleite mich also durch ein Konzeptexperiment, bei dem wir uns einen Weg von einer Aufgabe zu ihrer Lösung suchen.

Schauen wir uns erst einmal das Grundkonzept an: Zwei Teilnehmer haben zwei Knöpfe und derjenige, der zuerst drückt, schließt den anderen aus. Ich habe gemerkt, dass es mir bei der Veranschaulichung immer hilft, wenn ich eine eine Skizze zeichne, also fange ich damit an. In Abbildung 4-87 geht das Signal von jedem Knopf durch ein Bauteil, das ich »Knopfsperre« genannt habe und das vom Knopf der anderen Person aktiviert wird. Ich bin noch nicht ganz sicher, was die Knopfsperre sein wird oder wie sie funktionieren wird.

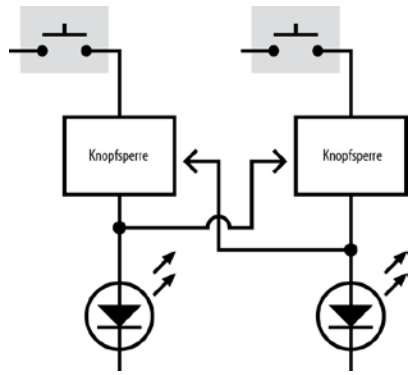


Abbildung 4-87. *Das Grundkonzept des Quiz-Projekts besteht darin, dass der Ausgang des einen Knopfs so rückgekoppelt ist, dass er den Ausgang des anderen Knopfs abfängt. An dieser Stelle ist noch nicht klar, wie die Schaltung der Knopfsperre funktionieren soll.*

Wenn ich mir das so ansehe, fällt mir gleich ein Problem auf. Wenn ich das Quiz auf drei Teilnehmer erweitern will, wird es kompliziert, weil jeder Spieler die »Knopfsperre« von zwei Gegnern aktivieren muss. Das sieht man in Abbildung 4-88. Wenn ich vier Spieler habe, wird es noch komplizierter.

Angesichts der Komplexität sollten wir wohl nochmal nachdenken und nach einem besseren Ansatz suchen.

Es gibt noch ein Problem. Wenn ein Spieler seinen Finger vom Knopf nimmt, werden die Knöpfe der anderen Spieler wieder freigeschaltet. Ich brauche eine Halteschaltung (in deutschen Texten oft auch mit »Latch« bezeichnet), die das Signal vom Knopf des ersten Spielers festhält und die anderen Spieler weiter blockiert.

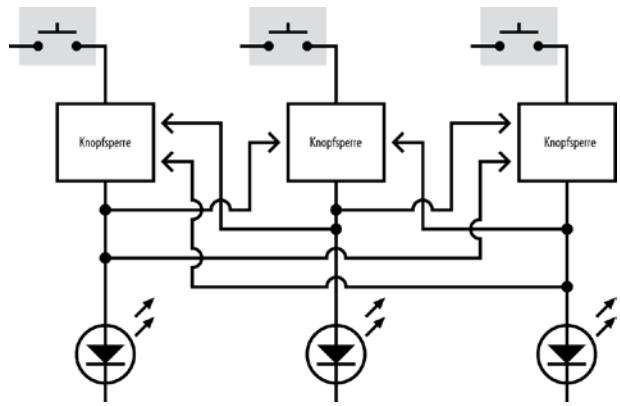


Abbildung 4-88. *Das Quiz-Konzept wird komplizierter, wenn noch ein Knopf hinzugefügt wird. Jetzt muss jeder Knopf zwei andere Knöpfe blockieren. Wenn ein vierter Knopf dazu kommt, wird die Schaltung unlösbar komplex. Es muss einen besseren Weg geben.*

Das klingt jetzt noch komplizierter. Aber Moment mal, wenn ich ein Latch habe, wodurch der Gewinner seinen Finger von seinem Knopf nehmen kann, ist es mir egal, ob danach noch einer der anderen Knöpfe gedrückt wird, einschließlich des Knopfs des Gewinners. Sobald sein Signal festgehalten wird, können *alle* Knöpfe blockiert werden. Das vereinfacht die Sache stark. Ich kann das als Abfolge von Ereignissen zusammenfassen:

1. Der erste Spieler drückt seinen Knopf.
2. Das Signal wird festgehalten.
3. Das festgehaltene Signal wird zurückgespeist und blockiert alle Knöpfe.

Die neue Skizze in Abbildung 4-89 zeigt dies. Jetzt ist der Aufbau modular und kann auf fast jede Anzahl von Spielern erweitert werden, indem man einfach mehr Module hinzufügt.

Es fehlt aber noch etwas Wichtiges: Ein Rückstellschalter, der das System wieder in den Ausgangszustand versetzt, nachdem die Spieler ihre Knöpfe gedrückt und gesehen haben, wer gewonnen hat. Ich brauche außerdem eine Methode, die Spieler davon abzuhalten, ihre Knöpfe zu früh zu drücken, bevor der Quizmaster seine Frage beendet hat. Vielleicht kann ich diese Funktion mit nur einem Schalter umsetzen, den der Quizmaster bedienen kann. In der

Grundstellung kann der Schalter das System zurücksetzen und den Strom zu den Knöpfen sperren. In der Spielstellung hört der Schalter auf, das System zu sperren und leitet Strom an die Knöpfe. In Abbildung 4-90 ist dies abgebildet. Ich zeige jetzt nur noch die Version mit zwei Spielern, damit die ganzen Rechtecke und Linien einfacher zu erkennen sind, aber das Konzept ist immer noch einfach erweiterbar.

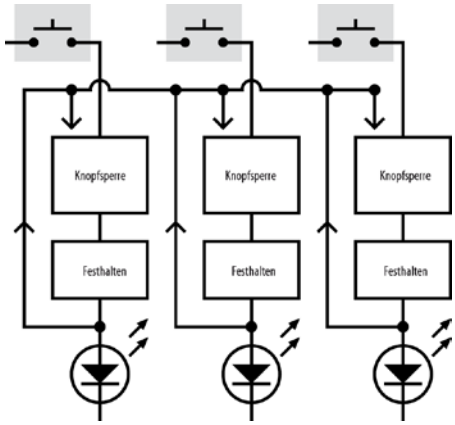


Abbildung 4-89. *Wenn unter jedem Knopf eine Halteschaltung (Latch) hinzugefügt wird, kann diese einen Eingang speichern und danach alle Signale von allen Knöpfen blockieren. Das vereinfacht das Konzept.*

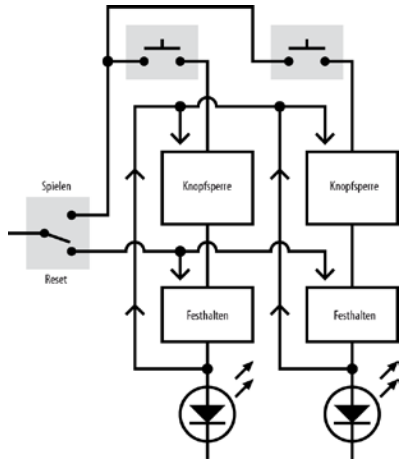


Abbildung 4-90. *Ein Quizmaster-Schalter wird gebraucht, um die Knöpfe am Anfang zu aktivieren und dann die Schaltung zurückzustellen, wenn ein Gewinnsignal erkannt wurde.*

Jetzt muss ich mich mit einem Logikproblem im Schaltbild auseinandersetzen. So wie ich es gezeichnet habe, kann das Ausgangssignal vom linken Latch, das erst nach oben zu den »Knopfsperren« läuft, danach auch über die Verbindung auf der rechten Hälfte der Schaltung weitergeleitet werden (gegen die Richtung der Pfeile), weil alles miteinander verbunden ist. Anders gesagt, wenn die linke LED aufleuchtet, wird auch die rechte LED aufleuchten. Wie kann ich das verhindern?

Ich könnte natürlich Dioden einsetzen, die in den Drähten nach »oben« verhindern, dass der Strom nach unten fließt. Ich habe eine elegantere Lösung: Ich füge ein OR-Gatter hinzu, weil die Eingänge eines OR-Gatters elektrisch voneinander getrennt sind. Abbildung 4-91 zeigt dies.

Ein OR-Gatter hat normalerweise zwei logische Eingänge. Hält mich das davon ab, mehr Spieler hinzuzufügen? Nein, weil man sogar OR-Gatter mit acht Eingängen kaufen kann. Wenn einer von ihnen einen High-Pegel aufweist, hat der Ausgang auch einen High-Pegel. Für weniger als acht Spieler kann ich die ungenutzten Eingänge mit der Masse verbinden und ignorieren.

Wenn ich mir jetzt noch einmal Abbildung 4-91 ansehe, bekomme ich eine klarere Vorstellung davon, was die von mir so genannte »Knopfsperre« sein soll. Ich glaube, ich sollte noch ein Logikgatter benutzen. Das Prinzip bei diesem Gatter sollte folgendes sein: »Wenn es nur ein Eingangssignal von einem Knopf gibt, lasse ich es durch. Wenn es aber ein zweites Eingangssignal vom OR-Gatter gibt, lasse ich es nicht durch.«

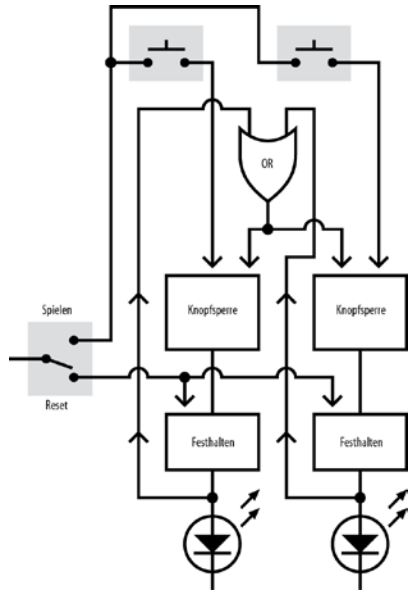


Abbildung 4-91. *Um zu verhindern, dass der Ausgang von einem Latch um die Schaltung herum zum Ausgang vom anderen Latch fließt, können die Ausgänge mit einem OR-Gatter kombiniert werden.*

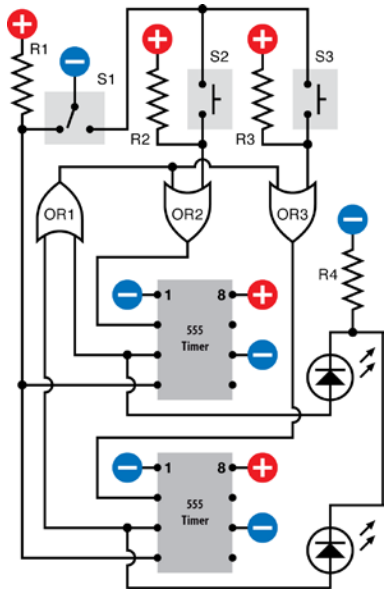


Abbildung 4-92. *Sobald das Grundkonzept der Quizschaltung steht, können bestimmte Bauteile mit kompatiblen Ein- und Ausgängen eingesetzt werden*

Das klingt nach einem NAND-Gatter, aber bevor ich einen Chip aussuche, muss ich entscheiden, was das Latch, die Halteschaltung, sein soll. Ich kann fertige Flip-Flops kaufen, die einschalten, wenn ein Signal anliegt, und wieder abschalten, wenn noch eines anliegt. Da gibt es aber das Problem, dass die Chips, die Flip-Flops enthalten, noch viel mehr Funktionen habe, als ich für diese einfache Schaltung brauche. Also benutze ich wieder die 555-Timer im Flip-Flop-Modus. Sie brauchen nur wenige Verbindungen, funktionieren sehr einfach und können genug Strom liefern. Das einzige Problem bei dieser Art von Timer besteht darin, dass sie ein negatives Eingangssignal am Trigger-Pin brauchen, um ein positives Ausgangssignal zu liefern. Aber damit werde ich sicher zurechtkommen.

Hier ist also endlich ein vereinfachter Schaltplan, zu sehen in Abbildung 4-92. Ich wollte die Pins der 555-Timer in ihrer tatsächlichen Anordnung zeigen, also musste ich die Bestandteile etwas anders platzieren, um möglichst wenige überkreuzende Verbindungen zu haben. Du wirst aber feststellen, dass es logisch gesehen genau dasselbe Grundkonzept ist.

Bevor du jetzt versuchst, es nachzubauen, gehe erst noch einmal alles theoretisch durch. Das ist der letzte Schritt, um sicher zu gehen, dass es keine Fehler gibt. Was man nicht übersehen darf ist Folgendes: Weil der 555 ein negatives Eingangssignal am Trigger-Pin erhalten muss, um seine Ausgabe zu starten, muss beim Druck auf einen der Spielerknöpfe dieser Knopf einen negativen Stromfluss durch die Schaltung erzeugen. Das widerspricht ein wenig der Intuition, also habe ich in Abbildung 4-93 in drei Schritten veranschaulicht, wie es funktioniert.

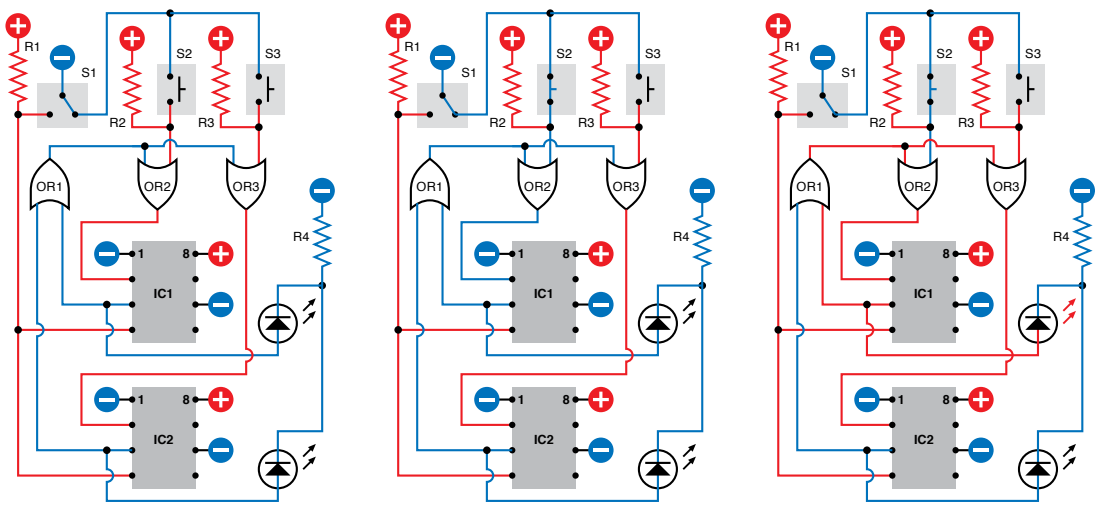


Abbildung 4-93. *Diese drei Schaltpläne zeigen die Verbreitung von höheren und niedrigeren Spannungen (roten und blauen Linien) in der Quizschaltung, wenn ein Knopf gedrückt wurde.*

In Schritt 1 hat der Quizmaster eine Frage gestellt und seinen Schalter nach rechts umgelegt, um (negative) Spannung an die Knöpfe der Spieler zu führen. Solange niemand einen Knopf drückt, versorgen die pull-up-Widerstände OR2 und OR3 mit positiver Spannung. Ein OR-Gatter hat einen positiven Ausgangspegel, wenn einer der Eingänge positiv ist, also halten OR2 und OR3 die Trigger-Eingänge der 555-Timer positiv. Deren Ausgänge bleiben beim Low-Pegel und nichts geschieht.

In Schritt 2 hat der linke Spieler seinen Knopf gedrückt. Jetzt hat OR2 zwei negative Eingangssignale, also fällt der Ausgang auch auf »low«. IC1 hat noch nicht reagiert.

In Schritt 3, nur eine Mikrosekunde später, hat IC1 den Low-Pegel am Trigger-Eingang festgestellt. Daher schaltet der Ausgang an Pin 3 auf High-Pegel und die LED wird aktiviert. Merke dir, dass sich der 555-Timer im Flip-Flop-Modus befindet, also verbleibt er auch in diesem Zustand. Gleichzeitig wird das high-Ausgangssignal auch zurück an OR1 geleitet. Weil OR1 ein OR-Gatter ist, reicht ein Eingang mit High-Pegel aus, um das Ausgangssignal auch auf »high« zu setzen, was an OR2 und OR3 geleitet wird. Da jetzt beide high-Eingangspegel haben, werden ihre Ausgänge auch auf »high« gesetzt und bleiben auch dabei, egal ob danach noch Knöpfe gedrückt werden.

Weil OR2 und OR3 jetzt einen High-Pegel an Eingängen und Ausgängen haben, können IC1 und IC2 nicht mehr getriggert werden. IC1 bleibt aber im eingeschalteten Zustand und lässt die LED weiter leuchten.

Die einzige Möglichkeit, IC1 umzuschalten, besteht darin, den Quizmaster-Schalter wieder nach links umzulegen. Dieser leitet negative Spannung an die Reset-Pins beider Timer. Dadurch fallen ihre Ausgänge auf »low«, die LED geht aus und die ganze Schaltung ist wieder im Anfangszustand. Nach der Rücksetzung kann der Quizmaster die nächste Frage stellen. Die Knöpfe der Spieler werden aber erst wieder aktiviert, wenn der Quizmaster den Schalter wieder nach rechts umlegt.

Es gibt nur eine Situation, die ich noch nicht angesprochen habe: Was geschieht, wenn beide Teilnehmer ihre Knöpfe absolut gleichzeitig drücken? In der Welt der Digitalelektronik ist das sehr unwahrscheinlich. Sogar ein Unterschied von einer Mikrosekunde reicht für die Reaktion der Schaltung aus, den zweiten Knopf zu sperren. Wenn trotzdem irgendwie beide Knöpfe zeitgleich gedrückt würden, sollten beide Timer reagieren und beide LEDs würden angehen, um anzuzeigen, dass es einen Gleichstand gibt.

Falls du etwas unsicher bist, wie die zwei-Spieler-Schaltung für zusätzliche Spieler erweitert werden kann, habe ich einen vereinfachten Schaltplan für drei Spieler in Abbildung 4-94 dargestellt.

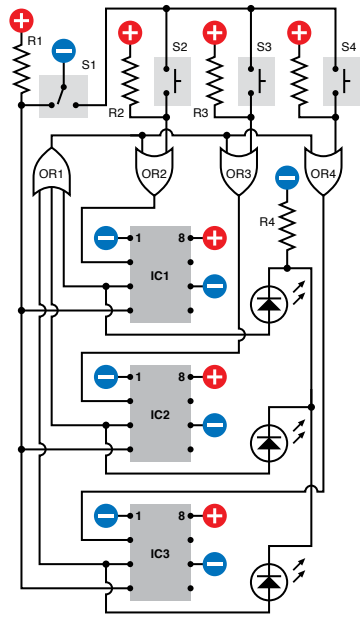


Abbildung 4-94. *Die Schaltung für zwei Spieler kann, so wie hier gezeigt, einfach auf eine drei-Spieler-Version erweitert werden, sofern das erste OR-Gatter drei Eingänge hat.*

Aufbau auf dem Steckbrett

Jetzt müssen wir einen Schaltplan erstellen, der dem Steckbrett-Aufbau so weit wie möglich entspricht, damit du die Schaltung auch einfach bauen kannst. Der Schaltplan ist in Abbildung 4-95 zu sehen, die tatsächlichen Bauteile auf einem Steckbrett in Abbildung 4-96. Weil ich nur Logikgatter vom Typ OR verwendet habe und nur drei davon brauche, reicht auch ein Logikchip aus: Der 74HC32, der vier OR-Gatter mit je zwei Eingängen enthält. (Ich habe die Eingänge des vierten Gatters auf Masse gelegt.) Die zwei OR-Gatter auf der linken Seite haben dieselbe Funktion wie OR2 und OR3 in meinem vereinfachten Schaltplan. Das OR-Gatter unten rechts im Chip fungiert als OR1 und bekommt ein Signal von Pin 3 beider 555-Timer. Wenn du alle Bauteile vorrätig hast, solltest du das recht schnell zusammenbauen und testen können.

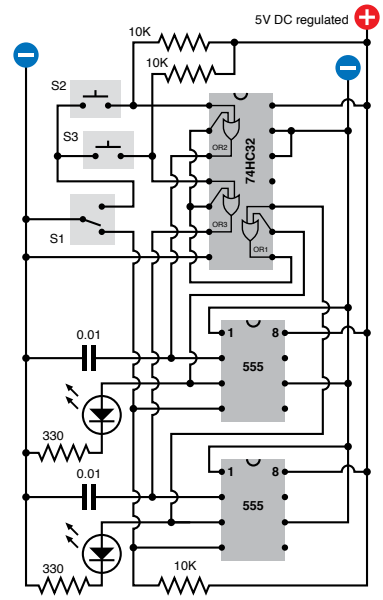


Abbildung 4-95. *Wenn man den vereinfachten Schaltplan so umgestaltet, dass er sich für das Steckbrett eignet, ergibt sich unvermeidlich eine Anordnung von Verbindungen, die nicht so intuitiv erfasst werden kann und komplexer erscheint. Die Verbindungen sind aber dennoch dieselben*

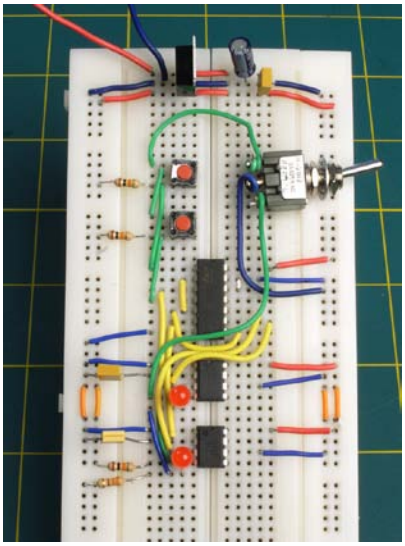


Abbildung 4-96. *Die Quiz-Schaltung auf einem Steckbrett, um das Konzept vor einem dauerhaften Zusammenbau zu testen.*

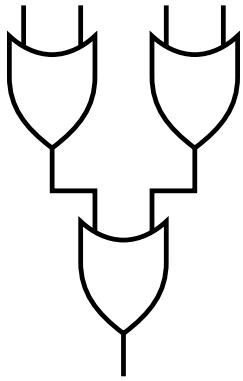


Abbildung 4-97. *Es wird zwar kein OR-Gatter mit vier Eingängen hergestellt, eine entsprechende Funktion kann aber einfach erzielt werden, indem man drei OR-Gatter mit zwei Eingängen miteinander verbindet.*

Dir fällt sicher auf, dass ich im Vergleich zum vorherigen Schaltplan eine Änderung gemacht habe: Ein Kondensator mit 0,01 µF wurde zwischen Pin 2 beider Timer (dem Eingang) und dem Minuspol eingesetzt. Warum? Als ich die Schaltung ohne Kondensatoren getestet hatte, wurden manchmal einer oder beide der 555-Timer ausgelöst, wenn der Quizmaster-Schalter S1 umgelegt wurde, ohne dass einer der Knöpfe gedrückt wurde.

Das hat mich erst einmal verwirrt. Wie wurden die Timer getriggert, ohne dass irgendjemand etwas gemacht hat? Vielleicht reagierten sie auf einen Rückprall im Quizmaster-Schalter. Die kleinen Kondensatoren haben das Problem aber einfach gelöst. Sie verlangsamen vielleicht die Reaktionszeit der 555-Timer um einen Bruchteil, aber nicht lange genug, um den langsameren menschlichen Reflexen in die Quere zu kommen.

Was die Knöpfe angeht, ist es egal, ob sie »zurückprallen«, weil der Timer sich beim allerersten Impuls einstellt und alle folgenden Schwankungen ignoriert.

Du kannst damit experimentieren, die Schaltung zu bauen, die 0,01-µF-Kondensatoren auszustecken und dann S1 ein paar mal hin und her zu schalten. Wenn du einen qualitativ hochwertigen Schalter hast, tritt vermutlich gar kein Problem auf. Wenn dein Schalter etwas billiger ist, bemerkst du vielleicht einige Falschmeldungen. Ich werde im nächsten Experiment auf den Rückprall etwas näher eingehen und zeigen, wie man ihn los wird.

Verbesserungen

Wenn du die Schaltung auf das Steckbrett gebaut hast und danach gerne eine dauerhafte Version herstellen willst, schlage ich vor, dass du es auf mindestens vier Spieler erweiterst. Dazu brauchst du ein OR-Gatter, das vier Eingangssignale zulässt. Die naheliegende Wahl ist der 74HC4078, weil er bis zu acht Eingänge erlaubt. Verbinde einfach alle nicht genutzten Eingänge mit Masse (in unseren Aufbauten immer der Minuspol).

Wenn du schon ein paar 74HC32-Chips hast und keinen 74HC4078 kaufen willst, kannst du stattdessen auch drei der Gatter in einem einzelnen 74HC32 so verbinden, dass sie sich wie ein einzelnes OR-Gatter mit vier Eingängen verhalten. Schau dir das einfache Logikdiagramm mit drei ORs in Abbildung 4-97 an und achte darauf, dass der Ausgang jedes OR-Gatters auf »high« schaltet, wenn wenigstens an einem der Eingänge ein High-Pegel anliegt.

Und wenn du schon einmal darüber nachdenkst, versuche doch einmal herauszufinden, was die Ein- und Ausgänge von drei auf gleiche Weise verbundenen AND-Gattern ergeben.

Für ein Spiel für vier Teilnehmer brauchst du natürlich auch zwei zusätzliche 555-Timer und zwei weitere LEDs und Drucktaster.

Was das Aufzeichnen eines Schaltplans für das vier-Personen-Spiel angeht: Das überlasse ich dir. Fange damit an, eine vereinfachte Version nur mit den Logik-Symbolen zu skizzieren. Wandle dies dann in eine Schaltung für ein Steckbrett um. Noch ein Vorschlag: Meiner Meinung nach sind für den Anfang Stift, Papier und Radiergummi immer noch schneller als eine Software für Schaltungen oder Grafikdesign.

Experiment 22: Kippen und Prellen

Ich habe im vorherigen Experiment erwähnt, dass ein »Rückprall« von den Tastern in der Schaltung kein Problem darstellen würde, weil die Taster 555-Timer aktiviert hatten, die für den bistabilen Modus (Flip-Flop) verdrahtet waren. Sobald der Timer den allerersten Impuls erhält, kippt er in seinen neuen Zustand um, bleibt darin und ignoriert alle weiteren Störungen in der Schaltung. Können wir also einen Schalter mit einem Flip-Flop entprellen? Und können wir dazu 74HCxx-Chips verwenden, von denen einige Flip-Flops enthalten?

Die Antworten sind ja und ja, auch wenn es nicht ganz so einfach ist, wie es klingt.

Das brauchst du:

- 74HC02-Logikchip mit vier NOR-Gattern. 74HC00-Logikchip mit 4 NAND-Gattern. Anzahl: je 1.
- Kippschalter, einpolig, Umschalter. Anzahl: 1.
- LEDs, Low-Current. Anzahl: 2.
- Widerstände mit 10 kΩ und 1 kΩ. Anzahl: je 2.

Bau die Einzelteile auf deinem Steckbrett auf und halte dich dabei an den Schaltplan in Abbildung 4-98. Wenn du den Strom anlegst (durch deine geregelte 5-Volt-Spannungsversorgung), sollte eine der LEDs angehen.

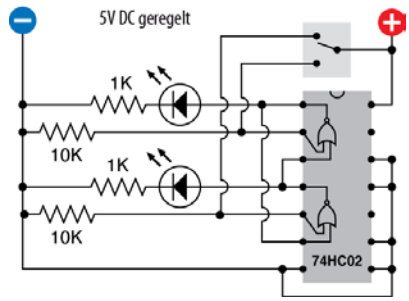


Abbildung 4-98. *Eine einfache Schaltung, um das Verhalten von zwei NOR-Gattern zu testen, die als einfaches Flip-Flop verbunden sind, das seinen Zustand beibehält, nachdem der Eingangsimpuls vorüber ist.*

Jetzt will ich, dass du etwas Ungewöhnliches tust. Nimm den den Kippschalter aus der Schaltung, indem du den Draht in die Hand nimmst, der den Pluspol mit dem mittleren Schalteranschluss verbindet, und das Ende des Drahts aus dem Steckbrett ziehst. Wenn du das getan hast, bist du vielleicht überrascht, dass die LED angeschaltet bleibt.

Stecke den Draht wieder auf das Steckbrett und lege den Schalter um. Die erste LED sollte ausgehen und die andere LED angehen. Ziehe noch einmal den Draht heraus und auch diesmal sollte die LED angeschaltet bleiben.

Das solltest du dir merken:

- Ein Flip-Flop benötigt nur einen ersten Impuls.
- Danach ignoriert es sein Eingangssignal.

So funktioniert es

Zwei NOR-Gatter oder zwei NAND-Gatter können als Flip-Flop agieren:

- Benutze NOR-Gatter, wenn du ein positives Eingangssignal von einem Wechselschalter erhältst.
- Benutze NAND-Gatter, wenn du ein negatives Eingangssignal von einem Wechselschalter erhältst.

In beiden Fällen musst du einen Wechselschalter (Umschalter) benutzen.

Ich habe den Wechselschalter jetzt drei Mal erwähnt (sogar viel Mal, wenn du diesen Satz dazu nimmst!), weil aus einem merkwürdigen Grund die meisten Einführungsbücher diesem Aspekt nicht genügend Rechnung tragen. Als ich das erste Mal etwas über Elektronik gelernt habe, bin ich fast verrückt geworden, als ich verstehen wollte, wie zwei NOR- oder NAND-Gatter einen einfachen Drucktaster (einen Schließer) entprellen können – bis ich dann herausgefunden habe, dass sie es gar nicht können. Der Grund ist der, dass die NOR-Gatter (oder NAND-Gatter) beim Einschalten der Schaltung wissen müssen, in welchem Zustand sie anfangen sollen. Sie brauchen eine anfängliche Ausrichtung, die daher kommt, dass sich der Schalter in dem einen oder anderen Zustand befindet. Es muss also ein Wechselschalter sein (Jetzt habe ich es fünf Mal gesagt.)

Ich benutze noch einen vereinfachten Schaltplan. In Abbildung 4-99 ist er in mehreren Phasen dargestellt, um zu die Veränderungen zu zeigen, die auftreten, wenn der Schalter an zwei NOR-Gattern hin und her geschaltet wird. Um deine Erinnerung aufzufrischen, habe ich auch eine Wahrheitstabelle der logischen Ausgänge von NOR-Gattern für alle Eingangskombinationen hinzugefügt.

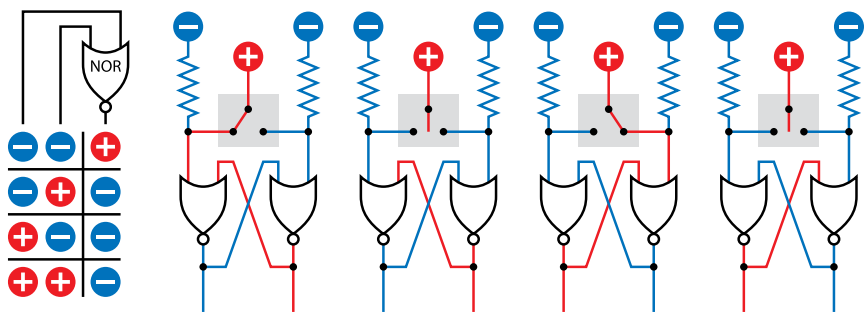


Abbildung 4-99. *Diese Abfolge von vier Diagrammen zeigt, wie eine Flip-Flop-Schaltung reagiert. Es werden zwei NOR-Gatter verwendet, die über einen Umschalter einen positiven Eingangspegel erhalten.*

Gehen wir davon aus, dass der Schalter nach links gekippt ist. Er leitet positive Spannung an die linke Seite der Schaltung und überwindet die negative Spannung vom pull-down-Widerstand. Wir können also sicher sein, dass das NOR-Gatter auf der linken Seite einen positiven logischen Ausgang hat. Weil jeder positive logische Eingang dafür sorgt, dass das NOR-Gatter ein negatives Ausgangssignal hat (wie die Wahrheitstabelle zeigt), geht der negative Ausgang an das rechte NOR-Gatter, das damit zwei negative Eingänge hat, worauf sein Ausgangssignal positiv wird. Das geht überkreuz wieder zurück zum linken NOR-Gatter. In diesem Zustand ist also alles stabil.

Jetzt kommt der schlaue Teil. Stell dir vor, du bewegst den Schalter so, dass er keinen seiner beiden Arbeitskontakte berührt. (Oder stell dir vor, dass die Schaltkontakte prellen und keine leitende Verbindung mehr herstellen oder dass du den Schalter ganz absteckst.) Ohne eine positive Versorgungsspannung vom Schalter fällt der linke Eingang des linken NOR-Gatters wegen des pull-down-Widerstands von positiv zu negativ. Der rechte Eingang dieses Gates ist aber immer noch positiv, und da ein positiver Eingang reicht, damit das NOR-Gatter seinen negativen Ausgangspegel beibehält, ändert sich auch nichts. Anders gesagt, die Schaltung ist in diesem stabilen Zustand eingerastet.

Wenn der Schalter jetzt ganz nach rechts umgelegt wird und positive Spannung an den rechten Pins des rechten NOR-Gatters leitet, erkennt das Gatter blitzschnell, dass es jetzt einen positiven logischen Input hat, so dass sein logischer Ausgang negativ wird. Dieser liegt ja am anderen NOR-Gatter an, das dann zwei negative Eingänge hat, so dass sein Ausgangspegel positiv wird und der wiederum an das rechte NOR-Gatter zurückgekoppelt wird.

Dadurch vertauschen die Ausgangszustände der zwei NOR-Gatter ihre Plätze. Sie kippen um und bleiben in diesem stabilen Zustand, auch wenn der Schalter den Kontakt unterbricht oder ausgesteckt wird. Die zweite Reihe von Zeichnungen in Abbildung 4-100 zeigt dieselbe Logik mit einem negativ versorgten Schalter und zwei NAND-Gattern. Du kannst das mit deinem 74HC00-Chip selbst ausprobieren, der in der Bauteilliste dieses Experiments aufgeführt ist.

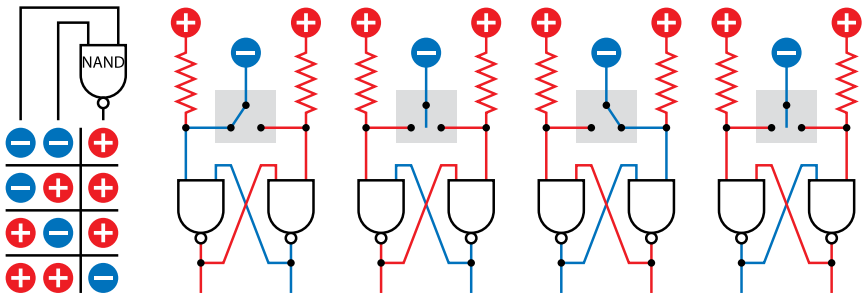


Abbildung 4-100. *Der Schaltplan aus Abbildung 4-99 kann auch mit NAND-Gattern und einem negativen geschalteten Eingangspegel aufgebaut werden.*

So ein Flip-Flop wird auch als RS-Kippstufe (Reset/Set) bezeichnet, weil die Ausgänge beim Umlegen des Schalters in den jeweilig anderen Zustand kippen und dort bleiben. Du kannst diese Schaltung überall benutzen, wo du einen Schalter entprellen musst (solange es sich um einen Wechselschalter handelt).

Eine anspruchsvollere Ausführung ist das taktgesteuerte Flip-Flop, bei dem du den Zustand jedes Eingangs zuerst festlegen musst und dann ein Taktsignal anlegst, worauf das Flip-Flop reagiert. Der Impuls muss deutlich und präzise sein. Das bedeutet: Wenn du so ein Flip-Flop an einen Schalter anschließt, muss der Schalter z.B. erst mit einem anderen Flip-Flop entprellt werden. Diese Überlegungen haben mich zögern lassen, taktgesteuerte Flip-Flops in diesem Buch einzusetzen. Sie fügen einen weiteren Schwierigkeitsgrad hinzu, den ich in diesem Einführungstext gerne vermeiden würde.

Was machst du, wenn du einen Taster oder einen einfachen (Ein-)Schalter entprellen willst? Dann hast du ein Problem! Eine Lösung bestünde darin, einen Spezial-Chip wie den Entprell-Chip 4490 zu benutzen, der eine digitale Verzögerungsschaltung enthält; z.B. den MC14490PG von On Semiconductor. Dieser enthält sechs Schaltungen für sechs einzelne Eingänge mit internen pull-up-Widerständen. Er ist aber relativ teuer und kostet fast zehnmal soviel wie ein 74HC02 mit NOR-Gattern. Es könnte also wirklich einfacher sein, Wechselschalter zu benutzen und sie einfach zu entprellen, wie es hier beschrieben wurde.

Experiment 23: Elektronische Würfel

Das ist das einzige Experiment, bei dem ich möchte dass du die 74LSxx-Generation der TTL-Logikbausteine anstelle der 74HCxx-Familie der CMOS-Bausteine benutzt. Hierfür gibt es zwei Gründe: Zum einen brauche ich den 7492-Zählbaustein, der in der HC-Familie nicht angeboten wird. Zum anderen solltest du ein Grundwissen über die LS-Serie von TTL-Chips haben, weil sie immer noch in Schaltungen auftauchen, die du in Elektronikbüchern und auch online finden kannst.

Außerdem lernst du etwas über »Open Collector«-TTL-Chips wie den Inverter 74LS06, der anstelle von Transistoren benutzt werden kann, wenn du eine Stromstärke von bis zu 40 mA liefern willst.

Das Konzept hinter dieser Schaltung ist sehr einfach: Ein 555-Timer schickt sehr schnelle Impulse an einen Zähler, der jeweils bis sechs zählt und LEDs ansteuert, die so angeordnet sind, dass sie die Augen auf einem Würfel nachzubilden. Der Zähler läuft so schnell, dass die Würfelaugen verschwimmen. Wenn der Benutzer auf eine Taste drückt, hält der Zähler an einer zufälligen Stelle an und zeigt eine nicht vorhersagbare Zahl an.

Würfelsimulationen gibt es schon seit sehr vielen Jahren und man kann auch entsprechende Bausätze kaufen. Diese Schaltung kann aber noch mehr: Sie demonstriert auch die Prinzipien von binärem Code.

Wenn du also bereit für die Herausforderung durch TTL-Chips, Open Collectors und Binärrechnung bist, können wir anfangen.

Das brauchst du:

- 74LS92-Zähler wie z.B. der SN74LS92N von Texas Instruments. Anzahl: 1, wenn du einen Würfel bauen willst, 2 für zwei Würfel.
- 74LS27-NOR-Gatter mit drei Eingängen wie z.B. der SN74LS27N von Texas Instruments. Anzahl: 1.
- 555-Timer. Anzahl: 1, wenn du einen Würfel bauen willst, 2 für zwei Würfel.
- Signaldioden, 1N4148 oder ähnlich. Anzahl: 4 (oder 8 für zwei Würfel).

Binäre Anzeigen

Der Zähler, mit dem wir vorher gearbeitet haben, war insoweit ungewöhnlich, als dass seine Ausgänge dazu da sind, Sieben-Segment-Ziffern anzusteuern. Für gewöhnlich haben Zähler Ausgänge, die im Binärcode zählen.

Die Anschlüsse des 74LS92 sind in Abbildung 4-101 zu sehen. Stecke den Chip in dein Steckbrett und stelle die Verbindungen so her, wie in Abbildung 4-102 zu sehen ist. Zu Beginn wird der 555-Timer in Zeitlupe zählen, ungefähr einen Schritt pro Sekunde. Abbildung 4-103 zeigt die tatsächlichen Bauteile auf dem Steckbrett.

Beachte, dass die Position der Stromanschlüsse am Zählbaustein ungewöhnlich ist, nämlich an den Pins 5 und 10 statt an den Ecken. Außerdem sind vier der Pins vollkommen ungenutzt und im Inneren des Chips mit nichts verbunden. Daher brauchst du dort keine Drähte anzuschließen.

Abbildung 4-101. *Die ungewöhnliche Pinbelegung enthält vier Pins, die überhaupt keine Verbindung im Chip herstellen und offen bleiben können.*

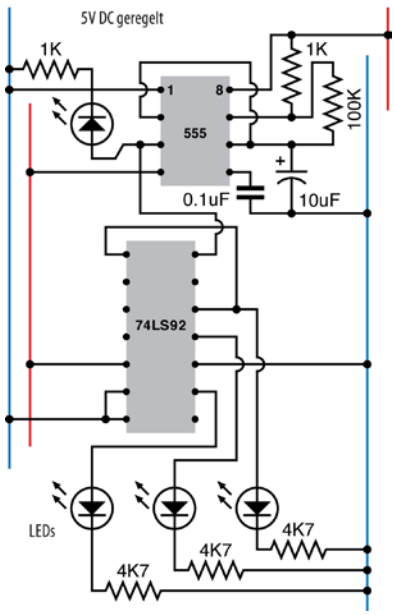


Abbildung 4-102. *Diese einfache Schaltung hat einen langsam laufenden 555-Timer, der den 74LS92-Binärzähler steuert, der die Abfolge der High-Zustände seiner Ausgänge darstellt.*

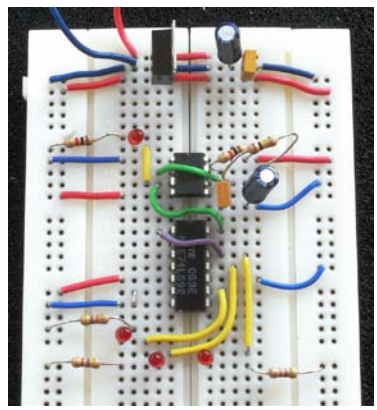


Abbildung 4-103. *Die Schaltung zur Darstellung der Ausgänge des 74LS92-Zählers aus Abbildung 4-102 auf einem Steckbrett.*

Jetzt kommen wir zur ersten Schwierigkeit und einen Grund, warum die 74LSxx-Generation von TTL-Chips für unsere Zwecke weniger geeignet ist, als die 74HCx-Generation von CMOS-Chips, die ich in den vorherigen Projekten empfohlen habe. Die modernen und wohl erzogenen HC-Chips können an jedem logischen Ausgang einen Ausgangsstrom von 4 mA liefern (»source«, Quelle) oder aufnehmen (»sink«, Senke), die ältere LS-Generation ist aber pingeliger. Die LS-Chips können an jedem Ausgangspin ca. 8 mA Strom von einer positiven Quelle senken (aufnehmen), wenn der Ausgang einen High-Pegel hat, kommt aber fast gar nichts heraus. Das ist ein wichtiges Grundprinzip:

- Die Ausgänge von TTL-Chips sind dafür da, als Stromsenke zu fungieren.
- Sie sind nicht dafür gedacht, als brauchbare Stromquelle genutzt zu werden.

Im Gegenteil: Der 74LS92 ist dafür ausgelegt, weniger als ein halbes Milliampere zu liefern. Das reicht aus, wenn du ihn nur mit einem anderen Logikchip verbindest. Wenn du damit aber ein anderes Bauteil betreiben willst, hat man nicht sehr viel, mit dem man arbeiten kann.

Die richtige Lösung besteht hier darin, dem Chip seinen Willen zu lassen und alles so aufzubauen, dass es eine positive Stromquelle gibt, von der der Strom durch einen Vorwiderstand durch die gewünschte LED und von dort in den Ausgang des Chips fließt. Dies ist die »bessere« Lösung und in Abbildung 4-104 dargestellt.

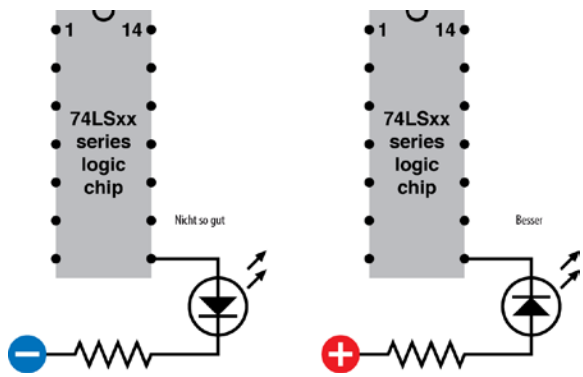


Abbildung 4-104. *Die logischen Ausgangspins der meisten TTL-Chips (auch aus der LS-Generation) eignen sich nicht als Stromquelle (links) und sollten normalerweise so verbunden werden, dass sie als Stromsenke für eine positive Quelle fungieren (links).*

Das einzige Problem ist, dass die LED jetzt aufleuchtet, wenn der Ausgang des Zählers einen Low-Pegel hat. Aber der Zähler ist so aufgebaut, dass er sein Ausgangssignal in high-Impulsen anzeigt. Die LED ist jetzt also aus, wenn sie an sein sollte und an, wenn sie aus sein sollte.

Das Problem kannst du beheben, indem du das Signal durch einen Inverter schickst, aber ich werde bei schon ungeduldig, weil das so umständlich ist. Meine Lösung für das Problem (jedenfalls für Demonstrationszwecke) besteht darin, die »nicht so gute« Möglichkeit aus Abbildung 4-104 zu benutzen und eine Very-Low-Current-LED mit einem großen Vorwiderstand von 4,7 kΩ einzusetzen. Das erlaubt uns, das Ausgangssignal des Zählers zu sehen, ohne dass er mehr Strom abgibt, als er soll. Wenn du ein helleres Display für eine

fertige Version der Würfelschaltung bauen willst, gebe ich dir später noch die Informationen dafür. Laut meinem Multimeter hält der 4,7-kΩ-Widerstand den Strom zwischen 0,3 und 0,4 mA, was das Maximum für den Zähler ist.

Baue deine erste Version der Schaltung so auf, wie in Abbildung 4-102 und 4-103 zu sehen ist. Sei vorsichtig, wenn du Plus- und Minuspol mit den nicht genormten Pins des Zählerchips verbindest.

Der 555 läuft im astabilen Modus mit ungefähr einem Impuls pro Sekunde. Dies wird das Taktsignal für den Zähler. Die erste drei Binärausgänge des Zählers steuern dann drei LEDs an.

Der Zähler schaltet einen Schritt weiter, wenn das Eingangssignal vom *High*-Pegel auf *Low*-Pegel fällt. Wenn die LED neben dem 555-Timer ausgeht, schaltet der Zähler also weiter.

Wenn du dir das Muster der Ausgänge lange genug ansiehst, erkennst du vielleicht die Logik dahinter. Merke dir einfach, dass der Nullzustand vorherrscht, wenn alle LEDs aus sind, und der Zähler fünf weitere Schritte durchgeht, bevor er wieder von vorne beginnt. Die Tabelle in Abbildung 4-105 zeigt diese Abfolge. Wenn du wissen willst, warum das Muster so aufgebaut ist, lies den folgenden Abschnitt: Theorie: Binärrechnen.

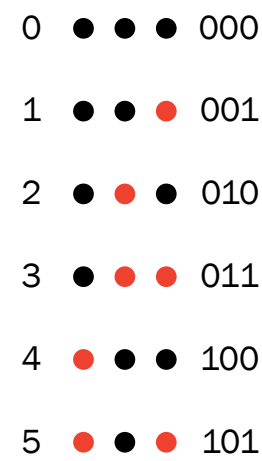


Abbildung 4-105. *Die drei Ausgangspins des 74LS92-Zählers haben »high«-Zustände, die von den roten Kreisen angezeigt werden, während der Zähler in Binärnotation von 000 bis 101 zählt.*

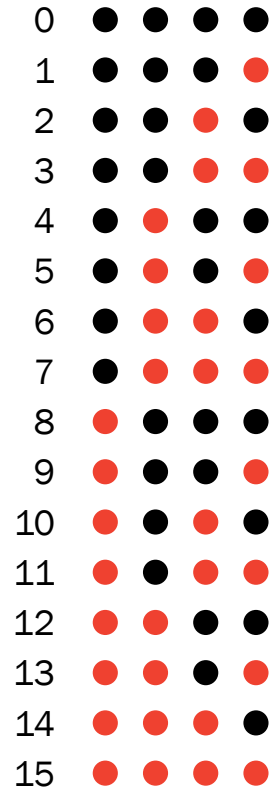


Abbildung 4-106. *Ein hexadezimaler (zur Basis 16) Binärzähler würde diese Abfolge von »high«-Zuständen an seinen vier Ausgnagspins erzeugen, während er von 0 bis 15 (in Dezimalschreibweise) zählt.*

THEORIE

Binärrechnen

Die Regel beim binären Zählen ist nur eine Variation der Regel, die wir normalerweise für alltägliches Zählen benutzen, ohne groß darüber nachzudenken. In einem System zur Basis 10 zählen wir von 0 bis 9, übertragen dann eine 1 auf die Stelle zur Linken und gehen dann an der Stelle ganz rechts wieder von 0 bis 9. Wir wiederholen diesen Ablauf, bis wir zur 99 kommen und übertragen dann eine 1 an eine neue Stelle, um die 100 zu bilden und zählen weiter.

Bei Binärzahlen machen wir es genauso, nur dass wir uns auf die Ziffern 0 und 1 beschränken. Also fangen wir mit einer 0 an der Stelle ganz rechts an und zählen bis 1. Da 1 unser Limit ist, müssen wir die 1 auf die nächste Stelle zur Linken übertragen und rechts wieder bei 0 anfangen, um weiter zu zählen. Wir zählen bis 1 und addieren dann 1 an der nächsten Stelle zur Linken, aber da ist schon eine 1 und höher können wir nicht zählen. Also übertragen wir die 1 von dort eine Stelle weiter nach links – und so weiter.

Wenn eine leuchtende LED eine 1 repräsentiert und eine dunkle LED eine 0, dann zeigt die Tabelle in Abbildung 4-105, wie der 74LS92 auf seine Art von 0 bis 6 (dezimal) oder bis 101 (binär) zählt. Darunter ist in Abbildung 4-106 noch eine Tabelle abgebildet, die die Ausgabe eines Zählers mit vier Binärausgängen zeigt, der die Dezimalzahlen von 0 bis 15 ebenfalls mit LEDs für 1 und 0 ausgibt.

Du kannst ja mal über folgende Fragen nachdenken: Wie viele LEDs brauchst du, um die Dezimalzahl 1024 binär darzustellen? Und wie viele für 1023?

Offensichtlich ist Binärcode ideal für eine Maschine aus Logikbausteinen, die entweder einen High- oder Low-Pegel haben, geeignet. Daher benutzen alle digitalen Computer Binärrechnung (die sie dann dezimal anzeigen, damit wir glücklich sind).

Um auf unser Projekt zurück zu kommen: Ich will die drei Binärausgänge benutzen, und damit ein Muster wie die Augen auf einem Würfel anzuzeigen. Wie bekomme ich das hin? Eigentlich ganz einfach, wie sich zeigt.

Ich benutze hierbei sieben LEDs, um die Würfelmuster anzuzeigen. Diese Muster können in Gruppen eingeteilt werden, denen ich in Abbildung 4-108 die drei Ausgängen des Zählers zugewiesen habe. Der erste Ausgang (ganz rechts) kann eine LED ansteuern, die den Punkt in der Mitte der Würfelfläche darstellt. Der zweite Ausgang (Mitte) kann zwei weitere, diagonal angeordnete LEDs ansteuern. Der dritte Ausgang muss alle vier LEDs in den Ecken ansteuern.

Dies funktioniert für die Darstellung von 1 bis 5, aber nicht für das Muster für die 6. Ich könnte alle drei Ausgänge vom Zähler in ein NOR-Gatter mit drei Eingängen führen. Das Gatter hat einen Ausgang, der einen High-Pegel aufweist, wenn alle drei Eingänge »low« sind. Das bedeutet, dass es nur einen High-Pegel liefert, wenn der Zähler seinen Zyklus damit beginnt, dass alle Ausgänge Low-Pegel führen. Diese Tatsache kann ich nutzen, um die sechs Augen anzuzeigen.

Beachte dass man in der Regel nicht die LS-Generation der TTL-Chips zusammen mit der HC-Generation der CMOS-Chips verwendet, weil sie unterschiedliche Signalbereiche für Ein- und Ausgänge haben. Der NOR-Chip muss also ein 74LS27 sein und kein 74HC27.

Wir sind jetzt soweit, uns einen einfachen Schaltplan anzusehen. Ich habe in Abbildung 4-107 einige der Leitungen farbig eingezeichnet, damit man sie leichter auseinanderhalten kann. Die Farben haben keine weitergehende Bedeutung.

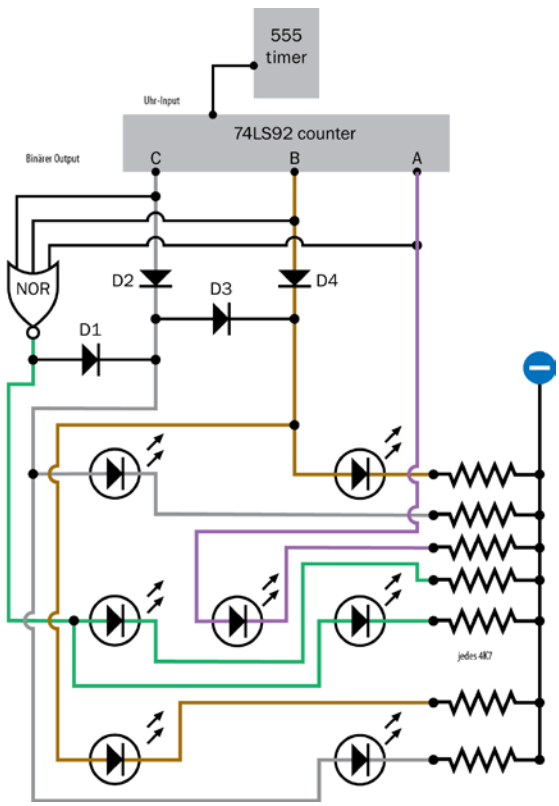


Abbildung 4-107. *Ein vereinfachter Schaltplan zeigt, wie die Ausgänge des 74LS92-Zählers mit Signaldioden und einem NOR-Gatter mit drei Eingängen kombiniert werden können, um die Würfelmuster zu erzeugen. Die Farben der Drähte haben keine besondere Bedeutung und dienen nur dazu, dass man sie leichter unterscheiden kann.*

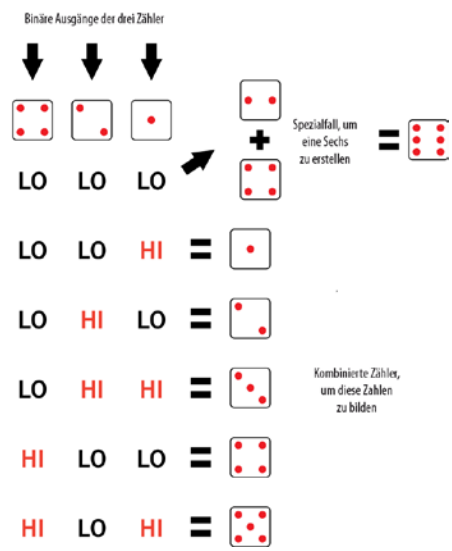


Abbildung 4-108. *Binäre Ausgänge von einem 74LS92-Zähler können genutzt werden, um LEDs einzuschalten, die in Gruppen zusammengefasst sind und so die Anordnung der Augen auf einem Würfel zu simulieren.*

Jede LED ist mit einem eigenen 4,7-kΩ-Vorwiderstand mit der Masse verbunden. Das bedeutet leider auch, dass, wenn eine Sechs angezeigt wird, alle LEDs parallel vom Ausgang des NOR-Gatters gespeist werden. Dadurch wird das Gatter überlastet. Solange du die Anzeige aber nicht zu lange in diesem Zustand betreibst, sollte das kein Problem sein. Du könntest das kompensieren, indem du größere Vorwiderstände nimmst oder indem du LEDs paarweise an einen Widerstand anschließt. Sie würden dann aber noch schwacher leuchten und wären kaum noch zu erkennen, da sie schon nahe an ihrem unteren Limit sind.

Du siehst auch, dass ich vier Signaldioden, D1 bis D4, hinzugefügt habe. Wenn Ausgang C aktiv ist, muss er die vier LEDs in den Ecken speisen, also fließt sein Strom sowohl in den braunen als auch den grauen Draht. Wir dürfen aber nicht zulassen, dass ein Ausgang mit einem anderen verbunden wird, also brauchen wir D4, um Ausgang B zu schützen, wenn Ausgang C aktiv ist.

Weil es eine neue Verbindung zwischen B und C gibt, brauchen wir D2, um Ausgang C zu schützen, wenn Ausgang B aktiv ist. Weil Ausgang B ebenfalls nur zwei der LEDs in den Ecken speisen darf, brauchen wir auch D3, damit die anderen zwei LEDs nicht auch angehen. Wir müssen auch den Ausgang des NOR-Gattes schützen, wenn entweder Ausgang B oder Ausgang C aktiv ist, dafür brauchen wir D1.

In Abbildung 4-109 ist all dies in einer Anordnung für das Steckbrett dargestellt. Abbildung 4-110 zeigt die Testversion, die ich gebaut habe. Achte darauf, dass die ungebrauchten Logikeingänge des 74LS27-Chips miteinander verbunden und an den Pluspol der Stromversorgung angeschlossen sind. Das ist die Faustregel:

- Bei CMOS-Chips (wie der HC-Serie) müssen nicht benutzte logische Eingänge an den Minuspol gelegt werden.
- Bei TTL-Chips (wie der LS-Serie) müssen nicht benutzte logische Eingänge an den Pluspol gelegt werden.

Ich gehe davon aus, dass du den LEDs lange genug beim langsamen Zählen zugesehen hast, also habe ich die Werte für Kondensator und Widerstand am 555 geändert, um die Geschwindigkeit von ca. 1 Takt pro Sekunde auf ca. 50.000 Takte pro Sekunde zu erhöhen. Der Zähler könnte noch schneller laufen, ich will aber nur, dass er schnell genug läuft, damit er bei einer Zufallszahl anhält, wenn der Benutzer auf den Taster drückt.

Der Taster startet und stoppt den 555-Timer, indem er nur an den Timer-Schaltkreis Strom anlegt und wieder unterbricht. Das entspricht dem Schütteln und Werfen eines Würfels.

Wenn der Zähler schnell läuft, blinken die LEDs so schnell, dass es aussieht, als wären alle gleichzeitig eingeschaltet. Währenddessen wird der neue Kondensator mit 68 µF aufgeladen, den ich zwischen dem Taster und der Masse eingesetzt habe. Wenn du den Taster freigibst, entlädt sich der Kondensator durch den Taktwiderstand mit 1 kΩ. Während die Ladung abfällt, dauert es immer länger, bis der Taktkondensator sich auf- und wieder entlädt, und die Frequenz des 555 wird immer niedriger. Dadurch blinken auch die LEDs immer langsamer, wie das Rad in einem Spielautomaten, das langsam anhält. Das erhöht die Spannung, weil die Spieler zusehen können, wie die Anzeige sich der Zahl nähert, auf die sie hoffen, und dann aber vielleicht einen Schritt zu weit zählt.

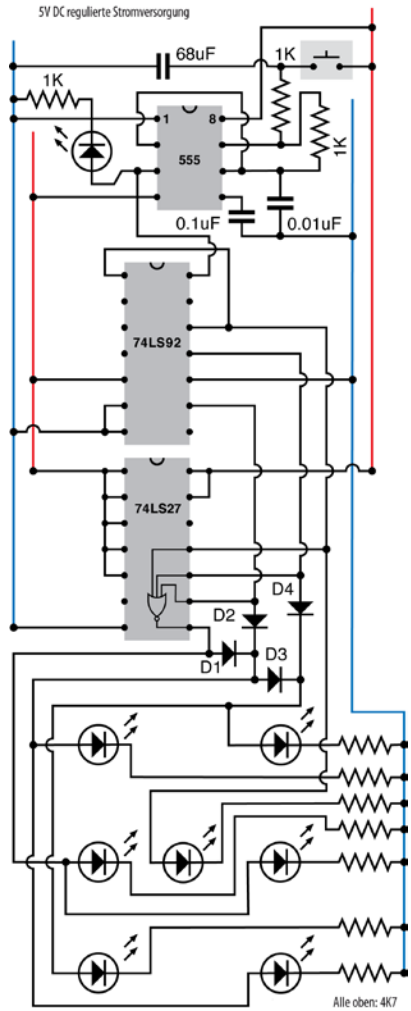


Abbildung 4-109. *Mit einigen zusätzlichen Bauteilen können die Schaltpläne aus den Abbildungen 4-102 und 4-107 kombiniert werden, um eine funktionierende Würfelsimulation zu bauen.*

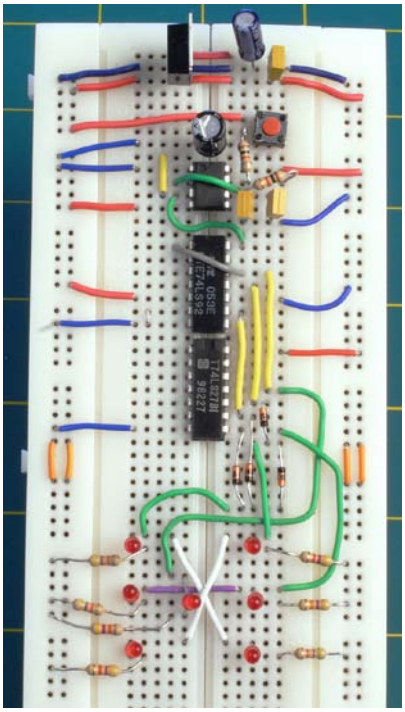


Abbildung 4-110. *Die Schaltung für den elektronischen Würfel auf einem Steckbrett, mit einem Drucktaster am oberen Ende für das Starten und Stoppen des Zählers sowie sieben LEDs am unteren Ende, die das Ergebnis anzeigen.*

Für den vollständigen Effekt muss der Taster für eine ganze Sekunde oder länger gedrückt werden, damit der 68-µF-Kondensator ganz aufgeladen ist, wenn der Taster losgelassen wird.

Damit erfüllt diese Schaltung unser ursprüngliches Ziel. Kann sie noch verbessert werden? Aber natürlich!

Verbesserungen

Die wichtigste Verbesserung ist die Helligkeit der LEDs. Ich könnte Transistoren verwenden, um den Strom zu jeder einzelnen LED zu verstärken, aber es gibt eine einfachere Alternative: Ein TTL-»Open Collector«-Inverter.

Ich möchte einen Inverter benutzen, weil wir in der Welt von TTL einen viel höheren Strom in den Ausgangspin eines Chips senken (einleiten) können als wir ihm entnehmen können, wie ich schon erwähnt hatte. Ich drehe also alle LEDs um und verbinde ihre Vorwiderstände mit dem Pluspol der Stromversorgung. Dadurch senken sie ihren Strom in die Ausgänge des Inverters.

Der große Vorteil der »Open Collector«-Version des Inverterbausteins ist der, dass dieser viel mehr Strom senken kann als ein normaler TTL-Logikchip. Er ist für 40 mA pro Pin ausgelegt. Sein einziger Nachteil besteht darin, dass er überhaupt nicht als Stromquelle taugt. Am Ausgang wird also kein High-Pegel ausgegeben, sondern der Chip verhält sich einfach wie ein offener Schalter. Für diese Schaltung ist das aber okay.

Der nächste und letzte Schaltplan in Abbildung 4-111 enthält den 74LS06-Inverter, der auch auf das Steckbrett gebaut wurde, wie man in Abbildung 4-112 sieht. Ich schlage vor, dass du die kleinen Low-Current-LEDs weglegst und stattdessen normale LEDs einsetzt. Mit »Standard«-5-mm-LEDs vom Typ Kingbright WP15031D messe ich, dass jede von ihnen fast genau 20 mA mit einem Spannungsabfall von 2 Volt mit einem Vorwiderstand von 120 Ohm zieht. Weil jeder Ausgangspin des 74LS06-Inverters nicht mehr als zwei LEDs auf einmal mit Strom versorgt, liegt dies genau innerhalb der Spezifikationen. Wenn du deine Schaltung aufbaust, solltest du den Stromverbrauch deiner LEDs überprüfen und die Widerstände anpassen, falls nötig.

Denke daran: Um den Spannungsabfall über einer LED zu messen, berühre einfach mit deinen Messspitzen beide Beinchen der LED, während sie leuchtet. Um den Strom zu messen, löse ein Beinchen aus der Schaltung und klemme das Multimeter (auf Milliampere eingestellt) zwischen das freie Beinchen und die Stelle, an der es in der Schaltung steckte.

Für eine spektakuläre Anzeige kannst du auch LEDs mit 1 cm Durchmesser kaufen (Abbildung 4-113). Wenn du die Kenndaten ansiehst, findest du sehr viele große LEDs, die auch nicht mehr Strom verbrauchen als die üblichen mit 5 mm Durchmesser. Egal welche Sorte du benutzt, vergiss nicht, sie umzudrehen, so dass die Kathoden (negativen Anschlüsse) zum Inverter zeigen und die Anoden (positiven Anschlüsse) zu den Widerständen, die mit dem Pluspol der Stromversorgung verbunden sind.

Ein letztes Detail: Ich musste die Schaltung in dieser Fassung um zwei 10-kΩ-Widerstände erweitern. Kannst du erkennen, warum? Die Dioden D1 bis D4 sind dafür da, positive Spannung an den Inverter zu leiten, wenn es angebracht ist, aber sie verhindern auch, dass die Eingänge des Inverters den Minuspol der Stromversorgung »sehen« können, wenn die Zählerausgänge einen Low-Pegel führen. Diese Eingänge des Inverters benötigen pull-down-Widerstände, damit sie nicht »schweben« und zu falschen Ergebnissen führen.

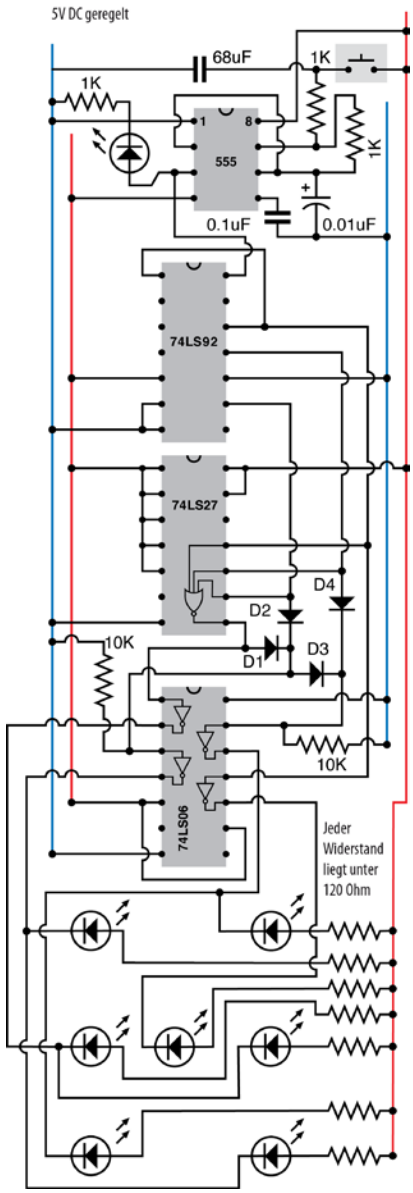


Abbildung 4-111. *Wenn Open-Collector-Inverter zum Würfelschaltplan hinzugefügt werden, kann man damit normal große LEDs mit bis zu 40 mA betreiben. Hierzu müssen die LEDs umgedreht werden, so dass sie den TTL-Ausgang als Stromsenke benutzen, und nicht versuchen, diesen als Stromquelle zu verwenden.*

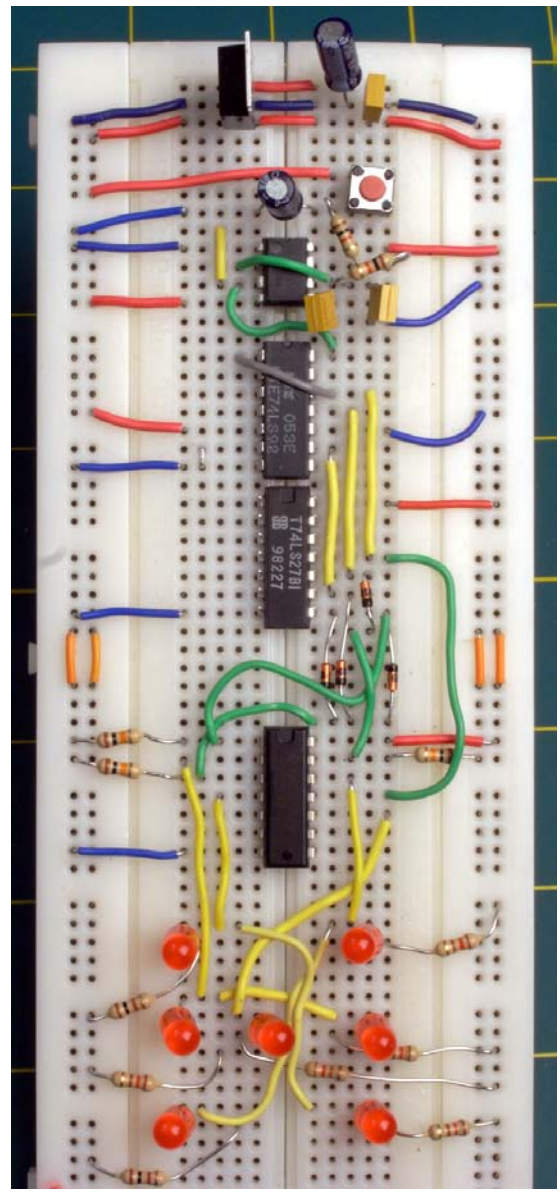


Abbildung 4-112. *Die fertige Schaltung mit einem Open-Collector-Inverter zur Ansteuerung normaler LEDs.*

Die abschließenden Verbesserungen überlasse ich dir. Am sinnvollsten ist es, einen zweiten Würfel hinzuzufügen, da man für viele Spiele zwei Würfel braucht. Der 74LS27-Chip enthält noch zwei unbenutzte NOR-Gatter, von denen du eines benutzen kannst. Du brauchst aber einen weiteren 555-Timer, der einen zweiten Zähler ansteuert und der mit einer anderen Geschwindigkeit laufen sollte, um Zufallswerte zu garantieren.

Wenn deine Würfel funktionieren, willst du vielleicht testen, wie zufällig die Ergebnisse sind. Weil die Impulse von einem 555-Timer gleich lang sind, hat jede Zahl dieselbe Chance. Je länger du den Startknopf drückst, desto besser stehen deine Chancen, den Zählvorgang an einem wirklich zufälligen Moment zu unterbrechen. Jeder, der deinen elektronischen Würfel benutzt, sollte wissen, dass er mindestens eine Sekunde »schütteln« sollte.

Natürlich hätte ich Würfel auch einfacher simulieren können, indem ich einige Zeilen Software schreibe, die Zufallszahlen auf dem Bildschirm ausgeben, aber selbst eine tolle Anzeige auf dem Monitor hat nicht den Reiz eines ordentlich zusammengebauten Geräts.

Außerdem war es mir ein Anliegen einfache, geeignete Chips zu benutzen und die Binärrechnung zu verdeutlichen, die die Grundlage jedes Computers darstellt.

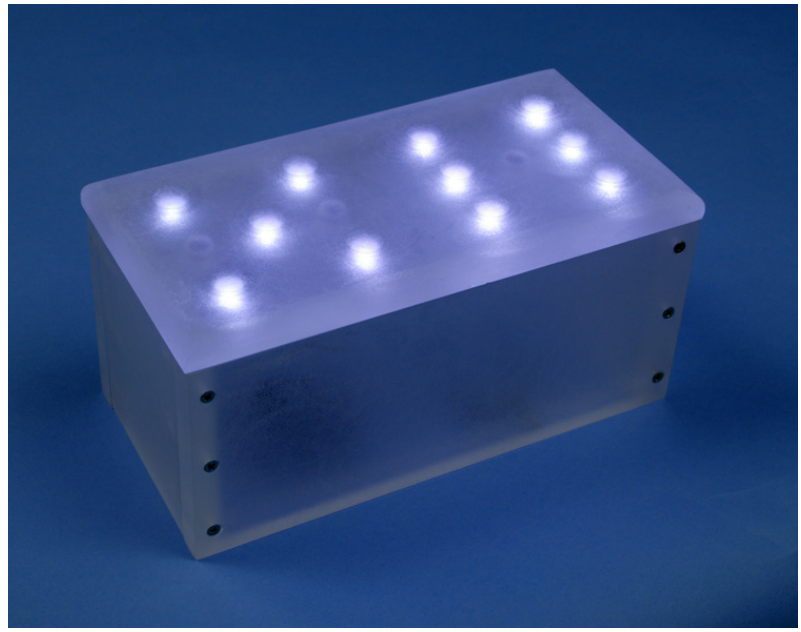


Abbildung 4-113. *Der Open-Collector-Inverter-Chip in der Würfelschaltung hat genug Leistung, um weiße LEDs mit 1 cm Durchmesser zu anzusteuern, die je ca. 20 mA bei einer Spannung von 2 Volt aufnehmen. In dieser fertigen Version wurden die LEDs in Löcher gesteckt, die von der Rückseite in 12 mm dickes Polycarbonat gebohrt wurden, das mit einem Exzenterschleifer behandelt wurde, um eine halbtransparente Oberfläche zu erhalten.*

Experiment 24: Die Alarmanlage wird fertiggestellt

Jetzt zeige ich dir, wie du das Wissen aus diesem Kapitel des Buchs für deine Alarmanlage verwenden kannst, die wir zuletzt in Experiment 15 erweitert hatten. Vermutlich musst du noch einmal in den Kapiteln 2 und 3 nachlesen, um dir die Funktionen der Alarmanlage wieder ins Gedächtnis zu rufen.

Verbesserung 1: Verzögerte Aktivierung

Die größte Schwachstelle der Alarmanlage bestand darin, dass sie sofort auf ein Signal von den Tür- und Fenstersensoren reagiert, sobald sie eingeschaltet wurde. Was fehlte, war eine Funktion, um die Aktivierung zu verzögern, damit man das Haus verlassen kann, bevor die Anlage scharf geschaltet wird. Diese Funktion kann man mit einem 555-Timer nachbauen, möglicherweise im Zusammenspiel mit einem Relais. Der Strom für die Anlage sollte durch die Relaiskontakte laufen, die im Ruhezustand geschlossen sind. Wenn du eine Taste am Timer drückst, sollte er für etwa 30 Sekunden einen positiven Impuls abgeben, der das Relais so lange offen hält. Du könntest den Timer in ein eigenes kleines Gehäuse mit einem Knopf einbauen, auf den du drückst, wenn du das Haus verlassen willst. Die Spannungsversorgung von 12 Volt geht durch das Gehäuse mit der Verzögerungsschaltung hindurch. Der 555 unterbricht für 30 Sekunden den Strom zur Alarmanlage und stellt danach die Verbindung wieder her.

Verbesserung 2: Deaktivieren mit dem Ziffernblock

Das ist jetzt wirklich einfach. Du kannst den Schalter im Gehäuse der Alarmanlage, S1, (siehe Abbildung 3-110) durch ein Haftrelais ersetzen und mit einem Ziffernblock das Relais auf genau dieselbe Art ein- und ausschalten wie beim Zahlenschloss. Du musst dafür drei zusätzliche Drähte vom Relais aus dem Gehäuse der Anlage zum Ziffernblock führen (einen für den Strom für die Einschaltspule, noch einen für den Strom für die Ausschaltspule und einen dritten für die gemeinsame Masse). Du kannst entweder eine 9-Volt-Batterie benutzten, um die Elektronik am Ziffernblock zu betreiben, oder noch einen vierten Draht von der Alarmanlage legen, um die Logikchips mit positiver Spannung zu versorgen. Dabei solltest du nicht vergessen, die 12 Volt von der Alarmanlage auf die 5 Volt für die Logikgatter zu reduzieren. Weil die Gatter so wenig Strom verbrauchen, sollte die Wandlung von 12 auf 5 Volt mit dem Spannungsregler kein Problem sein; er sollte nicht allzu viel Hitze abgeben.

Mit dieser Zusatzfunktion kannst du die Alarmanlage wie folgt benutzen:

- Drücke die Raute-Taste auf dem Ziffernblock, um das Haftrelais einzuschalten, so dass es die Alarmanlage mit Strom versorgt wird und somit scharf geschaltet ist.
- Wenn du das Haus verlassen willst, drücke den Knopf auf der Verzögerungsbox. Du hast dann 30 Sekunden Zeit.

- Wenn der Alarm ausgelöst wird, gib deinen Geheimcode auf dem Ziffernblock ein, um ihn zu deaktivieren. Dadurch unterbricht das Haftrelais die Verbindung für die Stromversorgung mit der Alarmanlage.

Diese Änderungen sind so einfach, dass ich glaube, dass das Blockschaltbild in Abbildung 4-114 zur Umsetzung ausreicht. Ich glaube nicht, dass ich dir Schaltpläne aufzeichnen muss. Die einzige Änderung, die du machen musst, besteht darin, den Ein-/Ausschalter durch das Haftrelais zu ersetzen.

Es gibt aber noch eine Verbesserung, die offensichtlich nötig ist: Wie kommst du wieder ins Haus, ohne sofort den Alarm auszulösen?

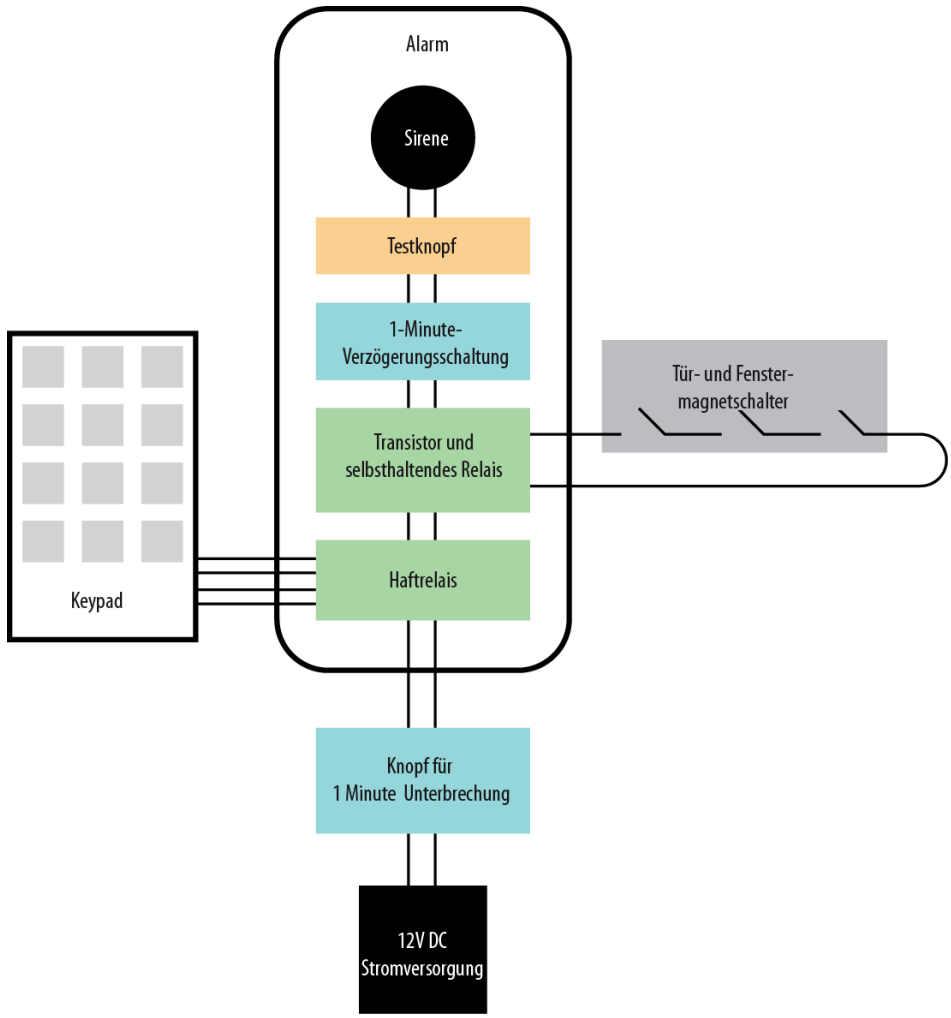


Abbildung 4-114. *Dieses Blockschaltbild zeigt die relative Anordnung der alten und neuen Bestandteile. Der Taster für die Stromunterbrechung (der dir erlaubt, das Haus zu verlassen, bevor die Anlage sich selbst wieder einschaltet) wird zwischen der Stromversorgung und dem Rest eingesetzt.*
Das Haftrelais ersetzt den zweipoligen Umschalter in der vorherigen Version der Alarmanlage. Der Transistor und das selbsthaltende Relais, die mit den Magnetschaltern an Türen und Fenstern verbunden sind, bleiben unverändert. Die neue Verzögerungsschaltung wird zwischen dem selbsthaltenden Relais und der Sirene eingesetzt. Der Testknopf wird so mit dem Haftrelais verbunden, wie er vorher mit dem Kippschalter verbunden war.

Verbesserung 3: Verzögerung vor der Deaktivierung

Normalerweise haben Alarmanlagen noch eine Verzögerungsfunktion. Wenn du eine Tür öffnest, um das Haus zu betreten, was den Alarm auslöst, hast du 30 Sekunden Zeit, ihn abzuschalten, bevor die Sirene ertönt.

Wie können wir diese Funktion umsetzen? Wenn ich noch einen 555-Timer benutzen will, um einen Impuls zu erzeugen, der die Sirene unterdrückt, wird das nicht funktionieren, weil der Ausgang vom Transistor oder vom Relais unendlich lange andauern kann. Das Relais schließt sich und der Transistor leitet weiter die Spannung durch, solange die Tür offen bleibt. Wenn eines dieser Signale einen Timer im monostabilen Modus aktiviert, wird der Impuls des Timers nie enden und den Alarm auf eine undefinierte Zeitspanne unterdrücken.

Ich denke, dass ich die Verzögerung mit einem Widerstand und einem Kondensator erzeugen muss. Ich versorge beide Bauteile durch das vorhandene Relais mit Strom, um sicher zu gehen, dass sie die gesamte Spannung der Batterie erhalten, nachdem sie bei Null angefangen haben. Der Kondensator lädt sich langsam auf. Ich kann aber keine direkte Verbindung zur Sirene herstellen, weil diese einfach langsam lauter werden würde, wenn die Spannung steigt.

Ich muss ein Bauteil einfügen, dass die volle Spannung abgibt, wenn sein Eingang über einen bestimmten Punkt gelangt. Dafür benutze ich einen 555-Timer im bistabilen Modus. So eine Modifikation wird in der Regel als Flickschusterei bezeichnet, weil sie nicht elegant ist, zu viele Bauteile benötigt und diese nicht ganz richtig eingesetzt werden. Ich brauche hier eigentlich einen Komparator, aber ich habe keine Zeit, dieses Thema ausführlich zu behandeln. Wenn wir das Wissen anwenden, das du bisher angesammelt hast, können wir mit dem Schaltplan in Abbildung 4-115 die Alarmanlage um eine Verzögerung erweitern – nicht elegant, aber zuverlässig.

Das einzige Problem besteht darin, dass es beim Einschalten des 555-Timers im bistabilen Modus eine 50/50-Chance gibt, dass der Timer mit einem High- oder mit einem Low-Pegel beginnt. Also muss ich die Spannung am Reset-Pin auf »low« ziehen (damit der Timer mit blockiertem Ausgang startet) und langsam positiv werden lassen (um den Ausgang zu öffnen). Gleichzeitig will ich mit einer hohen Spannung am Trigger-Pin anfangen und diese langsam senken, bis sie unter 1/3 der Versorgungsspannung fällt und den Ausgang auslöst.

Es gibt also zwei Timer-Schaltungen. Die Schaltung am Reset-Pin ist schneller als diejenige am Trigger-Pin, so dass in dem Moment, in dem der Timer ausgelöst wird, er nicht durch den Reset aufgehalten wird.

Der Schaltplan zeigt dir die Werte der Bauteile, die hierfür genutzt werden. Der Kondensator mit 10 µF fängt ohne Pegel an, lädt aber durch den 10-kΩ-Widerstand in einigen Sekunden. Der Timer kann dann getriggert (ausgelöst) werden. Der Kondensator mit 68 µF fängt dagegen auf High-Pegel an (da er mit dem Pluspol der Stromversorgung verbunden ist) und braucht eine ganze Minute, bis er durch die Entladung durch den 1-MΩ-Widerstand auf unter 1/3 der Versorgungsspannung gefallen ist. In diesem Moment ist die Spannung niedrig genug, um den 555 zu triggern. Der Timer-Ausgang wechselt auf den High-Pegel und versorgt die Sirene mit Strom.

Du solltest dieses kleine Verzögerungsmodul ohne Probleme in dein Gehäuse einbauen können, zwischen den Ausgang des Relais und dem Eingang der Sirene. Wenn du die Verzögerung einstellen willst, benutze einfach einen höheren oder niedrigeren Wert als 1 MΩ.

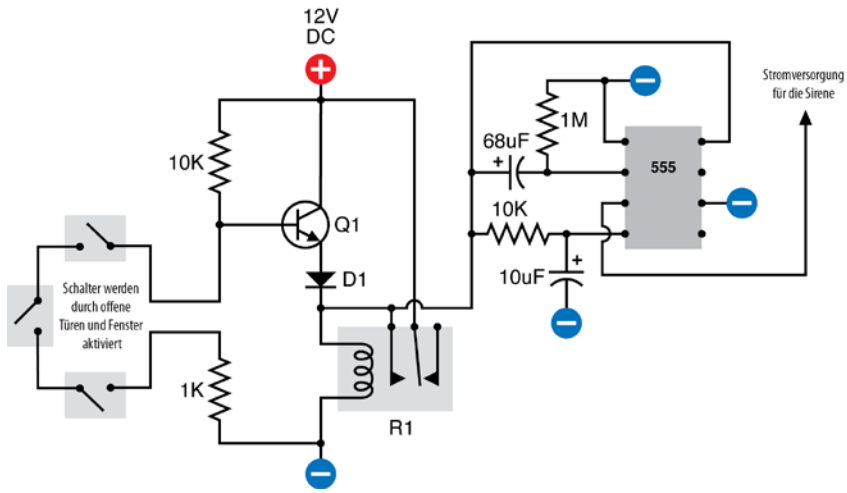


Abbildung 4-115. *Diese Erweiterung der ursprünglichen Alarmschaltung erzeugt eine Verzögerung von einer Minute, bevor die Sirene eingeschaltet wird. Der 555-Timer (im bistabilen Modus) erhält durch das Relais R1 Strom. Die untere Timing-Schaltung führt zunächst negative Spannung an den Reset-Pin und stellt so sicher, dass der 555 mit ausgeschaltetem Ausgang beginnt. Diese Spannung steigt langsam an. Währenddessen legt die obere Timing-Schaltung eine Spannung an den Trigger an, die langsam sinkt, während der 68-µF-Kondensator seine Ladung durch den 1-MΩ-Widerstand abgibt. Sobald die Spannung unter 1/3 der Versorgungsspannung absinkt, geht die Ausgangsspannung am Timer hoch und startet die Sirene. Wenn der Strom zur Schaltung vorher an irgend einer Stelle unterbrochen wird, fällt das Relais wieder ab, die Kondensatoren entladen sich langsam und der Alarm wird nicht ausgelöst.*

Alles unter Dach und Fach

Wenn du diese drei Verbesserungen einbaust, verfügt deine Alarmanlage über alle Funktionen von meinem ursprünglichen Wunschzettel. Natürlich könnte alles viel eleganter gelöst werden, wenn man die Anlage mit dem ganzen Wissen aus diesem Kapitel noch einmal neu entwirft. Aber für unsere Veränderungen mussten immerhin keine destruktiven Veränderungen an unserem ursprünglichen Gerät gemacht werden und alle unsere Ziele wurden erreicht.

Was kommt jetzt?

5

An dieser Stelle können wir mit vielen verschiedenen Bereichen fortfahren. Hier nur einige der Möglichkeiten:

Musikelektronik
: Dies ist ein eigenständiger Bereich mit vielen Eigenbauprojekten wie einfachen Verstärkern und Effektgeräten, mit denen man Gitarrenklänge verändern kann.

Geräte mit Funktechnik
: Alles, was Funkwellen ausstrahlt oder empfängt, von sehr einfachen Mittelwelleradios bis zu Funkfernsteuerungen.

Motoren
: Dank der Robotik gibt es immer mehr Websites, die Schrittmotoren, Getriebemotoren, Synchronmotoren, Servomotoren und viele mehr verkaufen.

Programmierbare Mikrocontroller
: Das sind kleine Computer auf einem einzigen Chip. Du kannst auf deinem PC ein kurzes Programm schreiben, das den Chip anweist, eine Reihe von Aktionen auszuführen, z.B. das Signal eines Sensors auszulesen, eine bestimmte Zeit zu warten und ein Ausgangssignal an einen Motor zu schicken. Dann lädst du dein Programm auf den Chip, der es in nichtflüchtigem Speicher abspeichert. Beliebte Controller sind u.a. PICAXE, BASIC Stamp, Arduino und viele mehr. Die billigsten gibt es schon ab 5 Euro.

Der Rahmen dieses Buches reicht nicht aus, um alle diese Themen vollständig abzuhandeln, also werde ich sie dir vorstellen, indem ich nur ein oder zwei Projekte aus jeder Kategorie beschreibe. Du kannst entscheiden, was dich am meisten interessiert, und dann weitermachen, indem du dir andere Anleitungen und Bücher durchliest, die auf dieses Thema zugeschnitten sind.

Ich werde auch einige Vorschläge machen, wie du dir einen nützlichen Arbeitsbereich einrichtest, welche Bücher, Kataloge und andere Druckerzeugnisse dich interessieren könnten und wie du im Allgemeinen mit dem Hobby Elektronik weitermachen kannst.

IN DIESEM KAPITEL

Einkaufszettel: Experimente 25 bis 36

Richte deinen Arbeitsbereich ein

Experiment 25: Magnetismus

Experiment 26: Stromerzeugung auf dem Tisch

Experiment 27: Lautsprecher-Zerstörung

Experiment 28: So reagiert eine Spule

Experiment 29: Frequenzen filtern

Experiment 30: Fuzz

Experiment 31: Ein Radio, kein Lötzinn, kein Strom

Experiment 32: Ein kleiner Roboterwagen

Experiment 33: Fortbewegung schrittweise

Experiment 34: Hardware trifft auf Software

Experiment 35: Verbindung zur Umwelt

Experiment 36: Noch einmal zum Schloss

Schlussworte

Einkaufszettel: Experimente 25 bis 36

Werkzeuge

Für diesen Abschnitt des Buchs brauchst du kein neues Werkzeug.

Verbrauchsmaterialien und Bauteile

Da wir inzwischen so weit sind, dass du dir selbst aussuchst, welche Projekte du machen willst, liste ich die benötigten Teile am Anfang jedes Experiments auf.

Richte deinen Arbeitsbereich ein

Wenn du inzwischen soweit bist, dass dir der Bau von Hardware Spaß macht, aber du für dein neues Hobby noch keinen festen Arbeitsbereich hast, habe ich einige Vorschläge. Da ich in meinem Leben viele unterschiedliche Ansätze ausprobiert habe, ist mein wichtigster Rat: Bau keine Werkbank!

Viele Hobby-Elektronik-Bücher beginnen damit, dass du Kanthölzer und Sperrholz einkaufen sollst – als ob man seine Werkbank selbst bauen müsste, damit sie genau die richtige Größe und Form hat. Das ist mir rätselhaft. Mir ist die genaue Größe und Form einer Werkbank nicht sehr wichtig. Ich finden, dass der wichtigste Aspekt die Aufbewahrung ist.

Ich will, dass Werkzeuge und Bauteile einfach zu erreichen sind, egal, ob es sich dabei um winzige Transistoren oder große Drahtspulen handelt. Ich will ganz bestimmt nicht aufstehen und zum anderen Ende des Zimmers laufen, um dort in Regalen herumsuchen.

Abbildung 5-1. *Der ideale Arbeitsbereich: Umgeben von Ablagen. Du wirst dich nie wieder von deinem Stuhl erheben müssen!*

Veranlasst mich zu zwei Schlussfolgerungen:

1. Du brauchst über deiner Werkbank Ablagemöglichkeiten.
2. Du brauchst unter deiner Werkbank Ablagemöglichkeiten.

In vielen Anleitungen für Eigenbau-Werkbänke sind nur wenige oder gar keine Ablagemöglichkeiten unter der Arbeitsplatte vorgesehen. Oder sie umfassen offene Regale, die aber schnell verstauben. Meine minimale Ausstattung besteht aus zwei Schreibtischcontainern mit je zwei großen Schubladen, darauf eine 2 cm dicke Sperrholz- oder Küchenarbeitsplatte. Die Container (solche, die sich für Hängeordner eignen) sind sehr gut dafür geeignet, alle möglichen Dinge aufzubewahren, nicht nur Akten.

Von allen Werkbänken, die ich benutzt habe, mochte ich einen altmodischen Stahlschreibtisch am liebsten, die Art von Monster, die noch aus den 1950er Jahren stammt. Wegen ihres Gewichts sind sie nur sehr schwer zu transportieren, aber sie haben viel Stauraum, sind äußerst strapazierfähig und halten ewig. Die Schubladen sind tief und lassen sich einfach ausziehen, wie bei guten Aktenschränken. Das beste ist, dass der Schreibtisch aus so viel Stahl besteht, dass du statische Elektrizität dort ableiten kannst, bevor du diesbezüglich empfindliche Bauteile anfasst. Wenn du ein Antistatik-Armband benutzt, kannst du es einfach mit einer Blechschraube an einer Ecke des Schreibtischs befestigen.

Womit füllst du die großen Schubladen in deinem Schreibtisch oder deinen Containern? Du braust Platz für Dokumente, wie die folgenden:

- Datenblätter
- Versandkataloge
- Zeichnungen und Pläne, die du selbst gezeichnet hast

Der restliche Platz in jeder Schublade kann mit Kunststofflagerboxen gefüllt werden. In diesen Boxen können Werkzeuge, die du nicht so oft brauchst (z.B. Heißluftpistole und starker Lötkolben) und größere Bauteile (zum Beispiel Lautsprecher, Netzteile, Gehäuse und Platinen) verstaut werden. Du solltest nach Lagerboxen suchen, die 300 x 200 x 147 mm groß sind (Standardmaße) und gerade Seitenwände haben. Viele Kisten, die man im Einzelhandel kaufen kann, haben abgeschrägte Seiten und vergeuden dadurch unnötig Platz.

Für mittelgroße Bauteile wie Potentiometer, Stecker, Drehregler und Schalter benutze ich gerne etwas flachere Boxen, die etwa 5 cm hoch sind und in vier bis sechs Fächer unterteilt sind. Solche Sortierboxen bekommt man in vielen Baumärkten oder bei Online-Anbietern, z.B. bei *http://sichtboxen.de*, aber auch beim Fachhandel für den Anglerbedarf.

Man kann flache Lagerboxen wie in Abbildung 5-4 in Schreibtischschubladen auch aufrecht nebeneinander verstauen. Achte darauf, dass die Verschlüsse der Kästen fest schließen, damit sie nicht versehentlich aufgehen.

Es gibt von verschiedenen Herstellern auch passende Werkzeugkisten, von denen du dir eine auf deinen Schreibtisch stellen kannst. Solche Kisten haben kleine Schubladen, damit man Schraubenzieher, Zangen und andere

Abbildung 5-2. *Viele Lagerboxen haben auch senkrechte Rillen, so dass sie mit passenden Trennstücken unterteilt werden können.*

Abbildung 5-3. *Damit der Inhalt nicht verstaubt, kann man auch zusätzliche Deckel kaufen. Man sollte beim Einkauf darauf achten, Boxen in den Größen zu kaufen, die sich gut in den vorhandenen Aufbewahrungsmöbeln stapeln lassen.*

Abbildung 5-4. *Da diese Kunstoffbox keine Unterteilungen im Inneren hat, kann man darin gut Drahtspulen und mittelgroße Werkzeuge aufbewahren. Man kann sie in Schubladen auch hochkant nebeneinander stellen.*

Grundwerkzeuge immer in Reichweite hat. Für die meisten Elektronikprojekte brauchst du nicht mehr freien Schreibtischplatz als etwa einen Quadratmeter, also passt so eine Werkzeugkiste noch problemlos auf deinen Schreibtisch.

Wenn du einen Stahlschrank mit sehr flachen Schubladen hast, kannst du in einer von diesen auch Kataloge aufbewahren. Unterschätze nicht, wie praktisch Papier sein kann, auch wenn du alles online bestellen kannst. Kataloge haben Inhaltsverzeichnisse, die oft schneller zum Ziel führen als die Suche auf einer Webseite. Außerdem sind Kataloge meist in sinnvolle Kategorien unterteilt. Ich habe schon oft nützliche Teile gefunden, von denen ich gar nicht wusste, dass es sie gibt; und das nur durch herumblättern, was viel schneller geht als online durch PDFs zu klicken, auch mit einer Breitbandverbindung. Oft erhält man nach der ersten Bestellung die neuen Kataloge auch immer frei Haus.

Aber jetzt zur großen Frage: Wie bewahrt man alle diese winzig kleinen Bauteile, z.B. Widerstände, Kondensatoren und Chips auf? Ich habe verschiedene Lösungen für dieses Problem ausprobiert. Die naheliegendste Lösung besteht darin, ein Kleinteilemagazin zu kaufen, das kleine Schubladen enthält, die man herausnehmen kann, so dass man diese auf den Schreibtisch stellen kann, wenn man die Teile benötigt. Ich mag dieses System aber aus zwei Gründen nicht. Erstens musst du die Schubladen für sehr kleine Bauteile unterteilen und diese Trennstege sind nie ganz stabil. Zweitens sind die Schubladen herausnehmbar, so dass die Gefahr besteht, den Inhalt aus versehen auf dem Fußboden zu verteilen. Vielleicht bist du umsichtig genug, dass dir das nicht passieren kann, ich bin es aber nicht!

Abbildung 5-5. *Für Bauteile wie Widerstände, Kondensatoren und Halbleiter eignen sich solche Boxen ideal. Man kann sie stapeln oder in Regalen aufbewahren und sie an der Kante beschriften. Hartnäckige Etiketten des Herstellers lassen sich nach dem Erhitzen mit einer Heißluftpistole problemlos abziehen.*

Ich mag Sortimentskästen wie in Abbildung 5-5 am liebsten. Man bekommt sie im Einzelhandel oder in größeren Mengen günstiger im Internet, z.B. unter *http://www.sichtboxen.de* oder *http://www.wachter-shop.de*. Die Kästen sind auch in verschiedenen Farben mit unterschiedlichen Facheinteilungen und Fächergrößen erhältlich, die sich jeweils für Widerstände oder Halbleiter anbieten.

Die Einteilungen sind Teil der Kunststoffbox, also hast du keine Probleme mit verstellbaren Trennstegen, die nicht an ihrem Platz bleiben, wodurch die Bauteile durcheinander geraten können. Die Verschlüsse halten auch normalerweise so gut, dass ein Kasten nicht aufgeht, wenn du ihn fallen lässt. Dank entsprechender Rillen lassen sich diese Boxen auch gut stapeln.

Ich bewahre meine kleinen Sortimentskästen in einem Regal über meinem Schreibtisch auf. Die Regalbretter haben den passenden Abstand, um immer zwei Kästen aufeinanderlegen zu können. Wenn ich für die Arbeit einige der Kästen brauche, nehme ich sie aus dem Regal und stapele sie auf meiner Arbeitsplatte.

Beschriftung

Egal, wie du deine Bauteile aufbewahrst: Du musst sie beschriften. Du kannst mit jedem Tintenstrahldrucker ansprechend aussehende Etiketten herstellen, und wenn du wieder abziehbare Aufkleber benutzt, kannst du deine Bauteile auch in Zukunft umsortieren, was immer mal wieder nötig sein wird. Für meine Widerstandssammlung benutze ich Etiketten, auf die die entsprechenden

Farben aufgedruckt sind, so dass ich die Ringe auf dem Widerstand mit dem Etikett vergleichen kann und gleich sehen kann, wenn ein Widerstand falsch einsortiert wurde. Siehe Abbildung 5-6.

Noch wichtiger ist Folgendes: Du solltest einen Zettel in jedes Fach legen, auf dem die Bezugsquelle und Bestellnummer steht, so dass du einfacher nachbestellen kannst. Online bekommt man die Bauteile oft in entsprechend beschrifteten Plastikbeuteln zugeschickt. Wenn ich sie öffne, schneide ich das zugehörige Etikett aus und lege es in das entsprechende Fach und dann die Bauteile darauf. Dadurch vermeide ich eine spätere Frustration.

Wenn ich *wirklich* gut organisiert wäre, hätte ich mir auch eine elktronische Datenbank angelegt, in die ich eintrage, was ich wann und wo einkaufe, welche Bauteile und in welcher Menge. Aber so gut organisiert bin ich eben nicht.

Abbildung 5-6. *Damit Widerstände nicht versehentlich im falschen Fach landen, drucke den Farbcode auf jedes Etikett.*

Auf der Arbeitsplatte

Einige Gegenstände sind so wichtig, dass sie sich immer auf deinem Werk- oder Schreibtisch befinden sollten. Das sind u.a. dein Lötkolben, die helfende Hand, Lupe, Schreibtischlampe, Steckbrett, Mehrfachsteckdose und Netzteil. Meine Schreibtischlampe hat eine Leuchtröhre, die das Tageslichtspektrum abgibt. Dadurch habe ich eine konstante Ausleuchtung und kann die Farben auf Widerständen besser identifizieren.

Das Netzteil ist eine Sache des persönlichen Geschmacks. Wenn du es mit der Elektronik ernst meinst, kannst du ein Gerät kaufen, dass einen sauber geregelten Strom mit sauber geregelten und abgeglichenen Spannungen abgibt. Das kleine billige Steckernetzteil ist dazu nicht in der Lage, und sein Ausgang schwankt möglicherweise stark, je nachdem, was du für eine Last daran anschließt. Es reicht aber für einfache Experimente, wie du bereits gesehen hast, und wenn du mit Logikchips arbeitest, musst du sowieso einen 5-Volt-Spannungsregler auf deinem Steckbrett benutzen. Insgesamt denke ich, dass es nicht unbedingt nötig ist, ein gutes Netzteil zu haben.

Ein anderes Gerät ist das Oszilloskop. Es zeigt dir grafisch die elektrischen Schwankungen in deinen Drähten und Bauteilen an. Indem du den Tastkopf an verschiedenen Stellen ansetzt, kannst du Fehler in deiner Schaltung finden. Es ist ein sehr praktisches Gerät, aber es kostet einige Hundert Euro und für unsere Zwecke ist es bis jetzt noch nicht notwendig gewesen. Wenn du mehr im Bereich Audio-Elektronik arbeiten willst, ist ein Oszilloskop wichtig, weil du sehen musst, wie die Wellenformen aussehen, die du erzeugst.

Du kannst auch für weniger Geld ein Oszilloskop kaufen, dass per USB mit deinem Computer verbunden wird und das Signal auf deinem Monitor darstellt. Ich habe so ein Gerät ausprobiert und war mit den Ergebnissen nicht wirklich zufrieden. Es hat zwar funktioniert, es gab jedoch Probleme bei Signalen mit niedriger Frequenz. Vielleicht hatte ich auch einfach nur Pech, aber ich habe dann kein weiteres solches Gerät mehr gekauft.

Die Oberfläche deines Schreibtisches oder deiner Werkbank wird sicher mit der Zeit an einigen Stellen Abnutzungen, Spuren von Schnitten und Brandflecken von heißem Lötzinn aufweisen. Ich benutze eine Sperrholzplatte von ca.

60x60 cm, um meine Hauptarbeitsfläche zu schützen. An der Vorderkante habe ich einen kleinen Schraubstock angebracht. Um die Gefahr von statischen Entladungen bei der Arbeit mit empfindlichen Bauteilen zu reduzieren, habe ich auf dem Sperrholz ein Stück leitfähigen Schaumstoff befestigt. Der ist nicht billig, hat aber, außer Chips vor elektrischen Schlägen zu schützen, noch andere Vorteile. Anstatt die Bauteile einfach hinzulegen, kann ich sie in den Schaumstoff stecken, wie Pflanzen, die im Garten wachsen. Und wie im Garten kann ich verschiedene Bereiche anlegen: Die Widerstände auf der einen Seite, die Kondensatoren auf der anderen und die Chips in der Mitte.

Wenn du arbeitest, richtest du aber auf jeden Fall immer ein Durcheinander an. Es sammeln sich leicht kleine Drahtstücke, einzelne Schrauben und Reste von entfernten Isolierungen an, die Schaden anrichten können. Wenn Metallteile oder Bruchstücke von Metall in eine Schaltung geraten, die du gerade baust, können sie Kurzschlüsse hervorrufen. Du brauchst also einen Mülleimer. Aber er muss einfach zu benutzen sein. Ich habe einen großen Eimer, der so groß ist, dass ich ihn gar nicht verfehlen kann, wenn ich etwas hineinwerfe, und ihn auch nicht übersehen kann.

Das wichtigste zum Schluss: Einen Computer. Da inzwischen alle Datenblätter online erhältlich sind, alle Bauteile online bestellt werden können und viele Beispielschaltungen von Bastlern und Dozenten online veröffentlicht werden, kann ich mir nicht vorstellen, wie man ohne schnellen Internetzugriff effizient arbeiten kann. Um keinen Platz zu verschwenden, schlage ich vor, dass du einen kleinen, billigen Laptop benutzt, der nicht viel Platz beansprucht. Eine Möglichkeit eines Arbeitsplatzes mit einem Stahlschreibtisch siehst du in Abbildung 5-7.

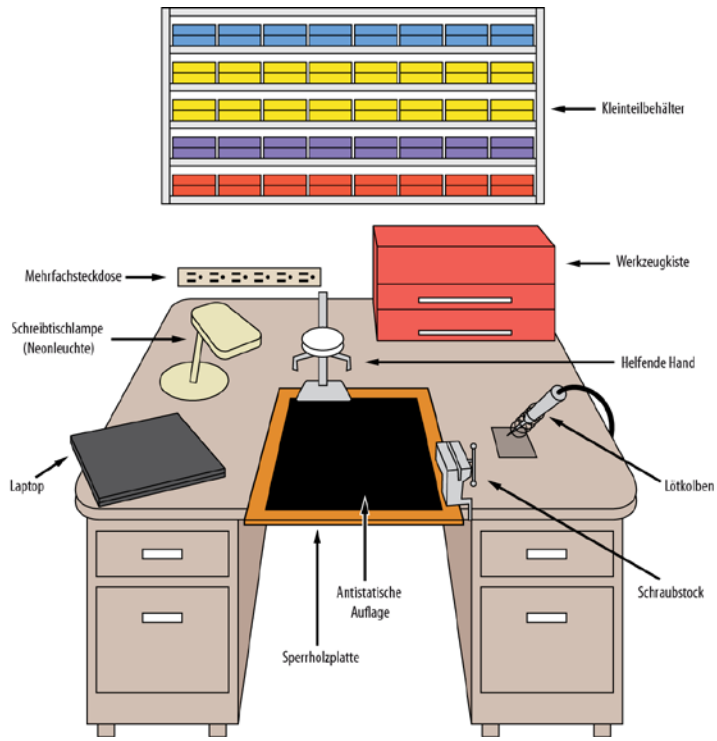


Abbildung 5-7. *Ein alter Büroschreibtisch aus Stahl kann sogar besser als eine herkömmliche Werkbank sein, wenn du kleine Elektronikprojekte baust. Die Arbeitsfläche ist groß genug, man kann viel darin unterbringen und er hat eine ausreichende Masse zur Erdung, für den Fall, dass du mit Bauteilen arbeitest, die empfindlich auf statische Elektrizität reagieren.*

Experiment 25: Magnetismus

Dieses Experiment sollte Bestandteil des Physikunterrichts gewesen sein, aber auch wenn du dich noch daran erinnerst, schlage ich dir vor, es noch einmal durchzuführen, weil der Aufbau ganz schnell geht und es unser Ausgangspunkt für ein ganz neuen Thema sein wird: Der Zusammenhang zwischen Elektrizität und Magnetismus. Dies wiederum führt uns schnell zu Tonwiedergabe und Funk. Ich werde dann die Grundlagen der Selbstinduktion beschreiben, was die dritte und letzte Eigenschaft von passiven Bauteilen ist (die anderen beiden sind Widerstand und Kapazität). Ich habe die Selbstinduktion bis zum Schluss aufgehoben, weil sie für die bisherigen Experimente kaum von Bedeutung war. Aber sobald wir anfangen, uns mit schwankenden Analogsignalen zu beschäftigen, wird sie unentbehrlich.

Das brauchst du:

- Einen großen Schraubenzieher
- Schaltdraht mit 0,6 mm Durchmesser (oder dünner). Länge: 2 Meter.
- Mignonbatterie.

Ablauf

Einfacher geht es fast nicht: Wickle den Draht nah der Spitze um die Klinge des Schraubenziehers. Die Umwicklungen sollten parallel verlaufen und eng anliegen; du solltest etwa 100 davon auf einer Länge von nicht mehr als 5 cm unterbringen. Damit das passt, musst du sie auch übereinander wickeln. Wenn sich das Ende von selbst wieder abwickelt (was passiert, wenn du Litze benutzt), klebe es mit einem Stück Klebeband fest. Siehe Abbildung 5-8.

Abbildung 5-8. *Jeder, der irgendwie als Kind dieses einfachste aller Experimente des Elektromagnetismus verpasst hat, sollte es einfach deshalb ausprobieren, um mit eigenen Augen zu sehen, dass eine einzelne Batterie eine Büroklammer bewegen kann.*

Jetzt halte eine Batterie an die Drahtenden, wie in Abbildung 5-9 zu sehen. Das klingt erst einmal nach einer schlechten Idee, weil du so die Batterie genau wie in Experiment 2 kurzschließt. Aber wenn wir den Strom nicht durch einen geraden, sondern durch einen aufgewickelten Draht schicken, kann er noch etwas für uns arbeiten, bevor die Batterie leer ist.

Lege eine kleine Büroklammer in die Nähe der Klinge des Schraubenziehers auf eine glatte Oberfläche, die nicht viel Reibung hat. Weil viele Schraubenzieher sowieso magnetisch sind, kann es passieren, dass die Büroklammer auch vorher schon von der Spitze angezogen wird. Wenn das passiert, lege die Klammer knapp außerhalb der Reichweite der Anziehung ab. Wenn du jetzt 1,5 Volt an die Schaltung anlegst, sollte die Büroklapper an die Spitze des Schraubenziehers springen. Herzlichen Glückwunsch: Du hast gerade einen Elektromagneten gebaut.

GRUNDLAGEN

Eine zweiseitige Beziehung

Jeder einzelne Elektromotor, der bisher hergestellt wurde, nutzt einen der Faktoren der Beziehung zwischen Elektrizität und Magnetismus. Dies ist eine der absoluten Grundlagen unserer Umwelt. Vergiss nicht, dass Elektrizität Magnetismus erzeugen kann:

Wenn Strom durch einen Draht fließt, erzeugt sie eine Magnetkraft um den Draht.

Das Prinzip funktioniert auch umgekehrt: Magnetismus kann Elektrizität erzeugen.

Wenn ein Draht sich durch ein Magnetfeld bewegt, erzeugt dieses einen fließenden Strom im Draht.

Dieses zweite Prinzip wird bei der Stromerzeugung genutzt. Ein Dieselmotor oder eine wassergetriebene Turbine oder ein Windrad oder eine andere Energiequelle dreht entweder Drahtspulen in einem starken Magnetfeld oder dreht Magneten in riesigen Drahtspulen. In den Spulen wird Strom induziert. Das nächste Experiment bietet dir eine eindrucksvolle Vorstellung dieses Effekts im Kleinformat.

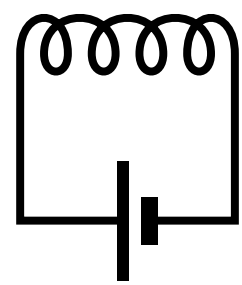


Abbildung 5-9. *Einfacher kann ein Schaltplan wirklich nicht sein.*

THEORIE

Induktion

Wenn Strom durch einen Draht fließt, erzeugt er ein Magnetfeld um den Draht. Weil der Strom diesen Effekt »herbeiführt« (lat. inducere), nennt man Induktion *Induktion*. Der Effekt wird in Abbildung 5-13 erläutert.

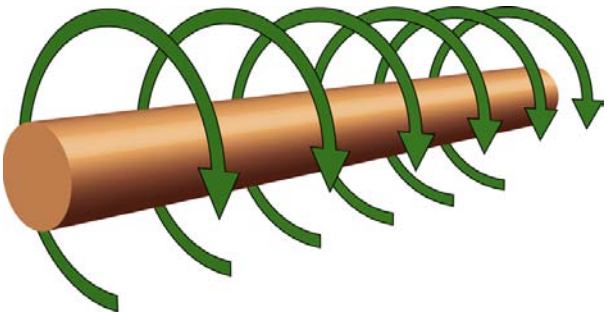


Abbildung 5-10. *Wenn der Strom in diesem Leiter von links nach rechts fließt, induziert er eine Magnetkraft, die durch die grünen Pfeile dargestellt wird.*

Das Feld um einen geraden Draht ist sehr schwach, aber wenn wir den Draht zu einem Kreis biegen, sammelt sich die magnetische Kraft an und wirkt in Richtung Kreismittelpunkt, wie in Abbildung 5-14 zu sehen. Wenn wir mehr Kreise hinzufügen, um eine Spule zu formen, wächst diese Kraft noch stärker an. Wenn wir dann ein magnetisches Objekt (wie einen Schraubenzieher) in das Zentrum der Spule einbringen, erhöhen wir die Effektivität erneut.

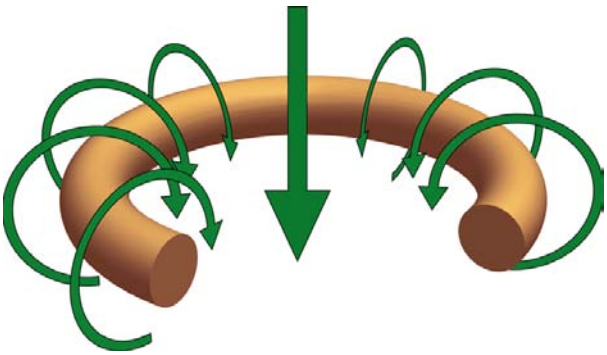


Abbildung 5-11. *Wenn der Leiter zu einem Kreis geboren wird, wirkt die gesamte Magnetkraft über die Mitte des Kreises, wie der große Pfeil anzeigt.*

Dies ist eine angenäherte Formel, die das Verhältnis zwischen dem Durchmesser der Spule, der Breite der Spule von einem Ende zum anderen, der Anzahl der Wicklungen und seiner Induktion darstellt. Der Buchstabe L ist das Formelzeichen für Induktivität. Die Einheit heißt Henry, benannt nach dem amerikanischen Physiker Joseph Henry, einem Pionier des Elektromagnetismus:

L (in Mikrohenry)=
[(D × D) × (N x N)] / [(18 × D) + (40 × W)]
(ungefähr)

In dieser Formel ist D der Durchmesser der Spule, N die Anzahl der Wicklungen und W die Breite der Spule. Siehe Abbildung 5-15. Hier drei einfache Schlussfolgerungen aus dieser Formel:

- Die Induktion nimmt mit dem Durchmesser der Spule zu.
- Die Induktion steigt im Quadrat zur Anzahl der Wicklungen. (Anders gesagt, dreimal so viele Windungen erzeugen neunmal soviel Induktion.)
- Bei gleichbleibender Wicklungszahl ist die Induktion niedriger, wenn du die Spule so wickelst, dass sie dünn und lang ist, und sie ist höher, wenn du sie breit und kurz wickelst.

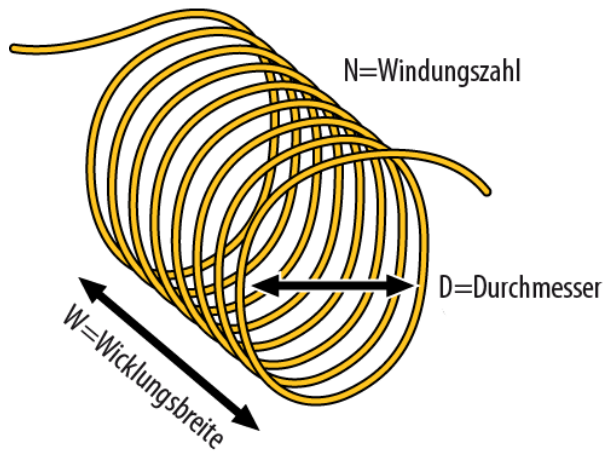


Abbildung 5-12. *Die Induktivität einer Spule steigt mit ihrem Durchmesser und im Quadrat zu ihrer Windungszahl. Wenn alle anderen Parameter gleich bleiben, erhöht eine Reduzierung der Spulenbreite (der Abstand von einem zum anderen Ende) durch eine engere Wicklung des Drahts die Induktivität.*

HINTERGRUNDWISSEN

Joseph Henry

Joseph Henry, geboren 1797, entwickelte und demonstrierte erstmalig leistungsfähige Elektromagneten. Außerdem begründete er das Konzept der »Selbstinduktivität«, also der »elektrische Trägheit«, die eine Eigenschaft von Drahtspulen ist.

Henry war der Sohn eines Tagearbeiters in Albany, New York. Bevor er den Beruf des Uhrmachers erlernte, arbeitete er in einem Gemischtwarenladen und wollte Schauspieler werden. Seine Freunde überzeugten ihn, sich an der Albany Academy einzuschreiben, wo sich herausstellte, dass er ein Talent für naturwissenschaftliche Fächer hatte. Schließlich wurde er 1826 an der Academy zum Professor für Mathematik und Naturphilosophie berufen, obwohl er gar keinen Hochschulabschluss vorzuweisen hatte und sich selbst als »Autodidakt« bezeichnete. Michael Faraday arbeitete an ähnlichen Themen in England, doch Henry wusste nichts davon.

Henry wurde 1832 nach Princeton berufen, wo er ein Jahresgehalt von 1000 Dollar und ein Haus zur eigenen Verfügung erhielt. Als Morse versuchte, den Telegraph zu patentieren, bekundete Henry, dass er dieses Konzept bereits kannte. In der Tat hatte er sich ein auf ähnlichen Prinzipien basierendes System zurechtgebastelt, um seiner Frau Nachrichten nachhause zu senden, wenn er im Labor der Philosophischen Fakultät arbeitete.

Zusätzlich zur Physik lehrte Henry Chemie, Astronomie und Architektur. Für ihn war Wissenschaft nicht in strenge Fachgebiete unterteilt, wie wir es heute kennen. Er untersuchte auch Phänomene wie die Phosphoreszenz, den Schall, das Verhalten von Kapillargefäßen und die Ballistik. Seit 1846 stand er der gerade neu gegründeten Smithsonian Institution als Leiter vor.

Abbildung 5-14. *Joseph Henry war ein US-amerikanischer Pionier des Elektromagnetismus. Dieses Foto stammt aus dem Archiv von Wikimedia Commons.*

GRUNDLAGEN

Schaltzeichen und Grundlagen von Spulen

In Abbildung 5-13 siehst du die Schaltzeichen für Spulen. Beachte, dass eine Spule mit einem Eisenkern durch zwei Linien (manchmal auch nur durch eine) gekennzeichnet wird. Wenn die Spüle über einen Ferritkern verfügt, wird die Linie manchmal gestrichelt dargestellt.

Ein Eisenkern erhöht die Induktion einer Spule, weil er den Magneteffekt verstärkt.

Eine Spule ohne Verbindung hat keine Polarität. Du kannst sie in beiden Richtungen anschließen, aber die Magnetkraft wird dann entsprechend umgekehrt. (Spulen, die mit anderen Dingen interagieren, so wie in Transformatoren und Hubmagneten, haben eine Polarität.)

Spulen werden sicher am häufigsten in Transformatoren eingesetzt, in denen ein Wechselstrom in einer Spule einen Wechselstrom in der anderen induziert. Beide Spulen sitzen oft auf dem gleichen Eisenkern. Wenn die Primärspule (Eingang) halb so viele Wicklungen wie die Sekundärspule (Ausgang) hat, wird die Spannung verdoppelt und die Stromstärke halbiert – bei einem hypothetischen 100% effizienten Transformator.

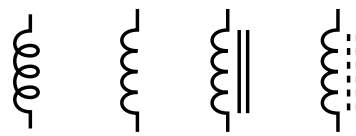


Abbildung 5-13. *Schaltzeichen für Spulen. Ganz rechts ist die ältere Variante dargestellt. Das dritte und vierte Symbol gibt an, dass die Spule um einen Eisenkern bzw. Ferritkern gewickelt ist.*

Experiment 26: Stromerzeugung auf dem Tisch

Du brauchst nur drei Bauteile, um sehen zu können, wie Magnetismus hier und jetzt Strom erzeugen kann.

Das brauchst du:

- Zylinderförmiger Neodym-Magnet, 2 cm Durchmesser, axial magnetisiert. Anzahl 1.
- Schaltdraht auf einer Spule, 0,4 mm Durchmesser, 30 Meter. Anzahl: 1.
- Kupferlackdraht auf einer Spule, 100 Gramm, 0,4 mm Durchmesser, ca. 100 Meter. Anzahl: 1.
- Normale LED. Anzahl: 1
- Elko mit 100 µF. Anzahl: 1.
- Signaldiode, 2N4001 oder ähnlich. Anzahl: 1.
- Verbindungsleitungen mit Krokodilklemmen an den Enden. Anzahl: 2.

Abbildung 5-15. *Mit einer herkömmlichen Rolle Schaltdraht kann man die induktive Kraft einer Spule demonstrieren.*

Abbildung 5-16. *Kupferlackdraht hat eine dünnere Isolierung als Schaltdraht, so dass die Spule enger gewickelt werden kann, so dass das resultierende Magnetfeld stärker ist.*

Ablauf

Dieses Experiment funktioniert möglicherweise auch schon mit der Spule aus Schaltdraht, was von der Größe der Spule relativ gesehen zur Größe des Magneten abhängt, aber da die Ergebnisse mit dem Kupferlackdraht wahrscheinlich besser sind, gehe ich davon aus, dass du diesen benutzt, jedenfalls am Anfang. Der Vorteil des Lackdrahts liegt darin, dass er durch die sehr dünne Isolierung enger gewickelt werden kann und daher eine höhere Induktanz hat.

Schau zuerst in das Loch der Spule, um zu sehen, ob du dort an das innere Ende des Drahtes gelangen kannst, so wie es in den Abbildungen 5-15 und 5-16 zu sehen ist. Wenn dies nicht der Fall ist, musst du den Draht erst auf irgendein zylinderförmiges Objekt abwickeln und ihn dann wieder auf die Spule wickeln, aber dabei nun das innere Ende herausschauen lassen.

Kratze die transparente Isolierung an beiden Enden des Lackdrahts mit einem Cutter oder Sandpapier ab, bis das blanke Kupfer zu sehen ist. Schließe dein Multimeter an die freien Drahtenden an und stelle es auf Ohm. Wenn der Kontakt gut ist, solltest du einen Widerstand von 30 Ohm oder weniger messen.

Stelle die Spule auf eine nicht magnetische und nicht leitende Oberfläche, z.B. einen Tisch mit einer Platte aus Holz, Kunststoff oder Glas. Befestige die LED mit Verbindungskabeln an den Drahtenden. Die Polarität ist egal. Nimm dann einen zylindrischen Neodym-Magneten von der Art, wie sie in Abbildung 5-17 abgebildet ist, und führe diesen Magneten schnell in den hohlen Spulenkern und ziehe ihn schnell wieder heraus. Siehe Abbildung 5-18. Du solltest beobachten können, dass die LED blinkt, entweder beim Hineinstecken oder beim Herausziehen.

Das kann möglicherweise auch funktionieren, wenn du die 30 Meter Schaltdraht nimmst. Im Idealfall passt dein zylindrischer Magnet ziemlich genau in die hohle Mitte der Spule. Wenn es eine große Lücke gibt, reduziert das den Einfluss des Magneten stark. Beachte, dass du möglicherweise gar kein Ergebnis siehst, wenn du einen schwächeren, altmodischen Eisenmagneten anstelle eines Neodym-Magneten benutzt

Abbildung 5-17. *Drei Neodymmagneten mit 6, 12 und 18 mm Durchmesser. Ich wollte sie für das Foto in Abständen nebeneinander stellen, aber das ließen sie nicht mit sich machen.*

Abbildung 5-18. *Indem man einen Magneten schnell durch das Zentrum einer Spule auf- und abbewegt, kann man genug Leistung erzeugen, um eine LED kurz blinken zu lassen.*

Du kannst noch eine Sache ausprobieren. Nimm die LED ab und verbinde einen Elko mit 100 µF in Reihe mit der Signaldiode, wie in Abbildung 5-20 gezeigt. Benutze dein Multimeter, um die Spannung über dem Kondensator zu messen. Wenn dein Multimeter eine manuelle Bereichseinstellung hat, stelle es auf 20 Volt Gleichstrom (DC). Achte darauf, dass die positive (unmarkierte) Seite der Diode mit der negativen (markierten) Seite des Kondensators verbunden ist, so dass die positive Spannung durch den Kondensator und dann durch die Diode fließt.

Bewege dann den Magneten schnell in der Spule hin und her. Das Multimeter sollte anzeigen, dass die Ladung des Kondensators ansteigt, auf bis zu 10 Volt. Wenn du den Magneten still hältst, sinkt die gemessene Spannung langsam wieder, hauptsächlich deshalb, weil der Kondensator sich durch den Innenwiderstand deines Multimeters entlädt.

Dieses Experiment ist wichtiger als es aussieht. Wenn du den Magnet in die Spule eintauchst, induziert er Strom in einer Richtung, wenn du ihn wieder herausziehst, induziert er Strom in die Gegenrichtung. Du erzeugst also Wechselstrom.

Die Diode gestattet dem Strom nur, in einer Richtung durch den Stromkreis zu fließen. Sie blockiert den umgekehrten Fluss, wodurch der Kondensator dann seine Ladung erhält. Wenn du nun daraus schließt, dass Dioden dazu benutzt werden können, Wechselstrom in Gleichstrom umzuwandeln, liegst du vollkommen richtig. Man sagt, dass die Diode den Wechselstrom »gleichrichtet«.

Blutblasen und tote Datenträger

Neodym-Magnete können gefährlich sein. Sie sind spröde und können zerbrechen, wenn man sie gegen ein Stück magnetisches Metall (oder einen anderen Magneten) schlägt. Deswegen raten viele Hersteller zum Augenschutz.

Da die Kraft eines Magneten mit kleiner werdendem Abstand zu einem anderen Objekt größer wird, wird die letzte Lücke bei Annäherung sehr plötzlich und ruckartig geschlossen. So kann man sich sehr schnell die Haut einklemmen und Blutblasen davon tragen.

Wenn ein Objekt aus Eisen oder Stahl sich in der Nähe eines Neodym-Magneten befindet, wird der Magnet dieses finden und an sich ziehen. Das kann sehr unangenehm werden, besonders wenn das Objekt scharfe Kanten hat oder sich deine Hände dazwischen befinden. Wenn du einen Magnet benutzt, schaffe dir zuerst eine freie Fläche auf einer nichtmagnetischen Oberfläche. Achte auch auf magnetische Objekte, die sich unter der Oberfläche befinden könnten! Mein Magnet erkannte z.B. einmal eine Stahlschraube unter der Arbeitsplatte in der Küche und schlug unerwartet und heftig auf dieser Stelle der Arbeitsplatte auf.

Blutblasen und tote Datenträger (Fortsetzung)

Achte auch darauf, dass Magneten andere Magneten erzeugen! Wenn ein magnetisches Feld sich entlang eines eisernen oder stählernen Objektes bewegt, wird dieses Objekt etwas von diesem Magnetismus aufnehmen. Pass auf, dass du deine Armbanduhr nicht magnetisierst!

Bitte benutze auch keine Magnete in der Nähe eines Computers, eines Diskettenlaufwerks, von Kreditkarten mit Magnetstreifen, jeglicher Kassetten oder anderer Datenträger. Halte Magnete auch von Fernsehbildschirmen und Videomonitoren (besonders Röhrenmonitoren) fern! Nicht zuletzt können starke Magneten auch den Betrieb eines Herzschrittmachers stören.

Experiment 24 hat gezeigt, dass elektrische Spannung einen Magneten erzeugen kann. Experiment 25 hat gezeigt, dass ein Magnet Spannung erzeugen kann. Wir sind jetzt soweit, dass wir diese Zusammenhänge auf den Empfang und die Reproduktion von Tönen anwenden können.

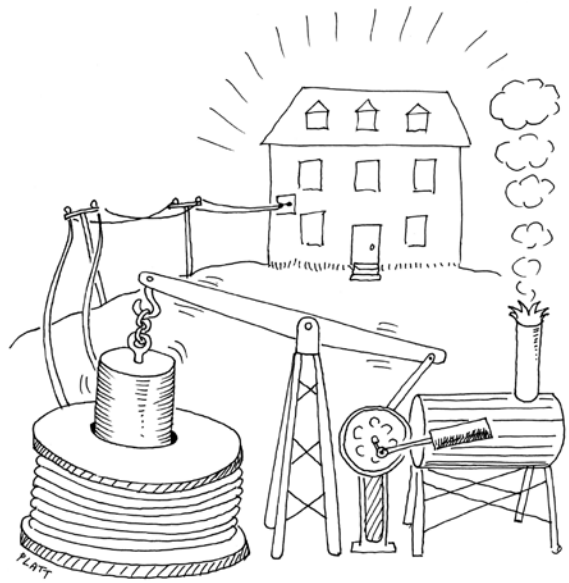


Abbildung 5-19. *Weil die Induktivität mit dem Durchmesser der Spule und im Quadrat zur Windungszahl steigt, kann man die Leistung durch Vergrößerung des Magneten und der Spule, in der er sich bewegt, deutlich erhöhen. Wer also unabhängig von Stromversorgern leben will, kann mit diesem dampfgetriebenen Aufbau ein Einfamilienhaus versorgen.*

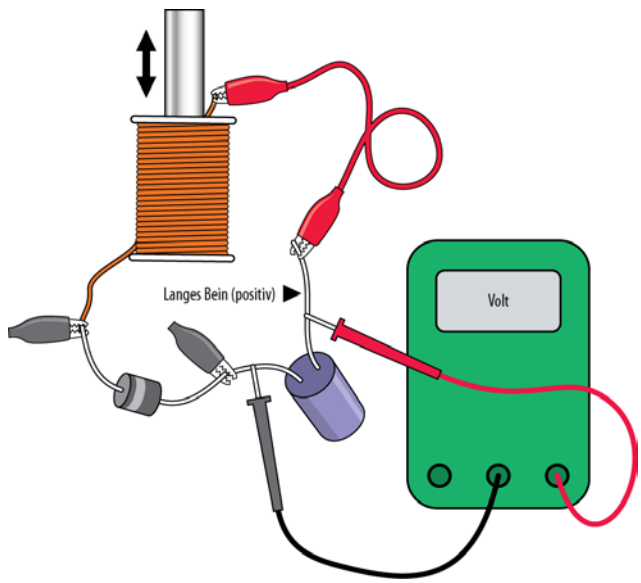


Abbildung 5-20. *Wenn du eine Diode mit einem Kondensator in Reihe schaltest, kannst du den Kondensator mit den Stromimpulsen aufladen, die durch die Bewegung des Magneten in der Spule entstehen. Hier sieht man, wie Wechselspannung gleichgerichtet wird.*

Experiment 27: Lautsprecher-Zerstörung

Du solltest einen 5-cm-Lautsprecher opfern, auch wenn das bedeutet, die 5 Euro zu verschwenden, die er vielleicht gekostet hat.

Ich sehe das aber gar nicht als Verschwendung an, weil es gar keine andere Möglichkeit gibt, als sich das Innenleben selbst anzusehen, wenn du lernen willst, wie ein Bauteil funktioniert. Du hast einen solchen Lautsprecher möglicherweise auch schon da, in einem nicht mehr gebrauchten Gerät oder Spielzeug im Keller.

Das brauchst du:

- Den billigsten 5-cm-Lautsprecher, den du finden kannst. Anzahl: 1. Abbildung 5-21 zeigt ein typisches Beispiel.

Abbildung 5-21. *Ein 5-cm-Lautsprecher kann mit einem Cuttermesser auf lehrreiche Weise zerlegt werden.*

Ablauf

Drehe den Lautsprecher mit der Vorderseite nach oben (wie in Abbildung 5-22) und schneide mit einem scharfen Cuttermesser an der Kante der Membran entlang. Dann schneide noch kreisförmig um die Abdeckkappe in der Mitte herum und entferne den Ring aus schwarzem Papier, den du auf diese Weise erzeugt hast. Das Ergebnis sollte wie in Abbildung 5-23 aussehen. Du solltest die flexible Spinne des Lautsprechers sehen, die normalerweise aus einem gelben Gewebe hergestellt ist. Wenn du diese ausschneidest, kannst du die versteckte Papierröhre herausziehen, um die die Kupferspule des Lautsprechers gewickelt ist. Ich habe sie in Abbildung 5-24 herumgedreht, damit sie leicht zu erkennen ist. Die zwei Enden der Schwingspule werden normalerweise über die Anschlüsse an der Rückseite des Lautsprechers mit Strom versorgt. Wenn die Spule in der kreisförmigen Rille zwischen dem inneren und dem äußeren Magneten sitzt, reagiert sie auf Spannungsschwankungen, indem sie in Abhängigkeit von Magnetfelds eine Kraft nach oben oder unten ausübt. Dadurch vibriert die Membran des Lautsprechers und erzeugt Schallwellen.

Abbildung 5-22. *Der Lautsprecher liegt zur kreativen Zerstörung bereit.*

Die größere Lautsprecher deiner Stereoanlage funktionieren genauso. Sie haben nur größere Magnete und Spulen, die mehr Leistung aushalten können (allgemein bis zu 100 Watt).

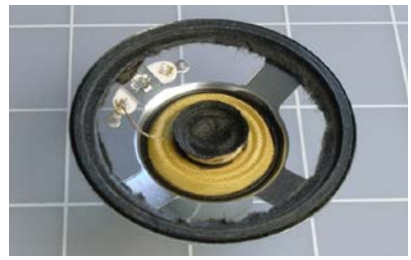


Abbildung 5-23. *Die Membran wurde entfernt.*

Immer wenn ich so ein kleines Bauteil öffne, bin ich von der Präzision und Filigranität seiner Einzelteile beeindruckt und wie es so günstig massenproduziert werden kann. Ich stelle mir vor, wie erstaunt die Pioniere der elektrischen Theorie (wie Faraday und Henry) wären, wenn sie die Bauteile sehen würden, die für uns heute selbstverständlich sind. Henry verbrachte Tage und Wochen damit, Spulen von Hand zu wickeln, um Elektromagneten zu bauen, die viel weniger effizient waren als dieser billige Kleinlautsprecher.

Abbildung 5-24. *Die Spinne der Membran wurde herausgezogen. Du siehst die Spule aus Kupferdraht, die genau in die kreisförmige Vertiefung zwischen den zwei Magneten an der Unterseite des Lautsprechers passt.*

HINTERGRUNDWISSEN

Die Entstehung der Lautsprecher

Wenn man Wechselstrom durch eine Drahtspule schickt, die sich in einem magnetischen Feld befindet, wird sich die Drahtspule aufgrund des elektrischen Stroms bewegen. Lautsprecher nutzen diesen Sachverhalt.

Diese Idee wurde 1874 von Ernst Siemens, einem überaus produktiven deutschen Erfinder, vorgestellt. (Er baute 1880 außerdem den ersten mit Strom betriebenen Fahrstuhl). Heute ist die Siemens AG eine der größten Elektronikkonzerne der Welt.

Als Alexander Graham Bell 1876 das Telefon patentierte, benutzte er Siemens' Methode, um hörbare Frequenzen im Hörer zu erzeugen. Von diesem Zeitpunkt an verbesserten sich die Geräte, die zur Klangwiedergabe genutzt werden, immer weiter hinsichtlich ihrer Qualität und Leistung, bis Chester Rice und Edward Kellogg im Jahre 1925 eine Arbeit veröffentlichten, die die Grundlagen der Klangwiedergabe darlegte, die heute noch beim Lautsprecherdesign gelten.

Auf *http://www.radiolaguy.com/Showcase/Gallery-HornSpkr.htm* findest du Fotos von sehr schönen, frühen Lautsprechern, die eine Hornform aufwiesen, um die Effektivität zu erhöhen. Als die Tonverstärker leistungsstärker wurden, wurde jedoch die Lautsprechereffizienz gegenüber einer qualitativ hochwertigen Klangreproduktion und kostengünstigen Produktion immer weniger wichtig. Heutige Lautsprecher wandeln nur noch ca. ein Prozent der elektrischen Energie in akustische Energie um.

Abbildung 5-25. *Dieses wunderschöne Amplion AR-114x zeigt die Bemühungen der frühen Ingenieure, die Effizienz zu maximieren, als Verstärker noch keine große Leistung liefern konnten. Fotos: »Sonny, the RadiolaGuy.« Viele frühe Lautsprecher sind auf www.radiolaguy.com zu sehen. Einige stehen auch zum Verkauf.*

THEORIE

Schall, Strom und Schall

An dieser Stelle nun eine verständliche Erklärung, wie Schall in Elektrizität und wieder zurück in Schall umgewandelt wird.

Stell dir vor, jemand schlägt auf einen Gong. Die flache Metallscheibe des Gongs vibriert vor und zurück und erzeugt dadurch Schallwellen. Eine Schallwelle ist ein Bereich mit höherem Luftdruck, dem ein Bereich mit niedrigerem Luftdruck folgt.

Die Wellenlänge des Schalls ist die Entfernung (in der Größenordnung von Metern bis Millimetern) zwischen einer Druckwellenspitze und der nächsten.

Die Frequenz des Schalls ist die Anzahl der Wellen pro Sekunde. Sie wird meistens in Hertz angegeben. Stell dir vor, dass wir eine sehr empfindliche kleine Membran aus dünnem Kunststoff aufstellen, so dass die Druckwellen auf sie treffen. Der Kunststoff wird durch die Wellen zu flattern beginnen, so wie ein Blatt, das im Wind flattert. Stell dir weiter vor, dass wir eine winzige Spule aus sehr dünnem Draht an dieser Membran befestigen, so dass sie sich mitbewegt, und dass wir einen Dauermagneten in die Spule stecken. Dieser Aufbau ist wie ein winziger, höchst empfindlicher Lautsprecher, nur dass er nicht aus Strom Schall erzeugt, sondern so aufgebaut ist, dass er aus Schall Strom erzeugt. Schalldruckwellen bringen die Membran dazu, entlang der Längsachse des Magneten zu schwingen, so dass das Magnetfeld eine schwankende Spannung im Draht hervorruft.

Dies wird als *Tauchspulenmikrofon* bezeichnet. Es gibt andere Möglichkeiten, ein Mikrofon zu bauen, aber diese Konstruktion ist am einfachsten zu verstehen. Natürlich erzeugt es nur eine sehr niedrige Spannung, diese können wir aber mit einem Transistor oder einer Reihe von Transistoren verstärken. Danach können wir das Ausgangssignal durch die Spule in einem Lautsprecher leiten. Der Lautsprecher wird dann diese Druckwellen wieder in der Luft erzeugen. Diese Abfolge wird in den Abbildungen 5-29 bis 5-32 erläutert.

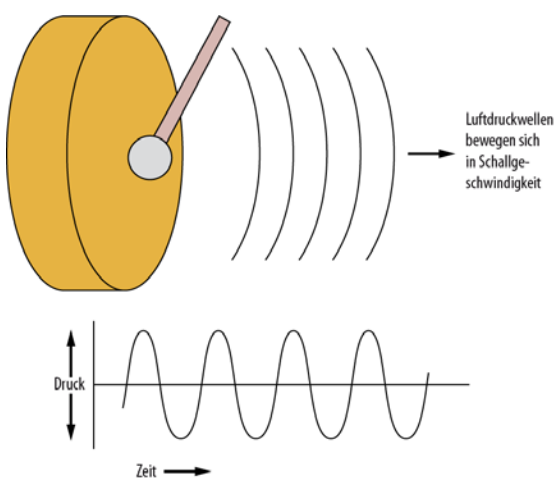


Abbildung 5-26. *Schritt 1 des Vorgangs, Schall in Strom umzuwandeln, und danach wieder zurück. Wenn der Schlegel den Gong trifft, vibriert dessen Front und erzeugt Druckwellen, die durch die Luft wandern.*

THEORIE

Schall, Strom und Schall (Fortsetzung)

Es kommt sicher auch der Punkt, an dem wir den Schall aufnehmen und dann wiedergeben möchten. Aber das Prinzip bleibt gleich. Der schwierige Teil ist die Konstruktion des Mikrofons, des Verstärkers und des Lautsprechers, damit diese die Wellenformen bei jedem Schritt *genau* wiedergeben. Dies ist eine anspruchsvolle Herausforderung, weshalb eine fehlerfreie Schallwiedergabe auch nur schwer zu erreichen ist.

Jetzt können wir mal darüber nachdenken, was im Draht passiert, wenn er ein Magnetfeld erzeugt. Offensichtlich wird ein Teil der Leistung im Draht in Magnetkraft umgewandelt. Aber was passiert genau?

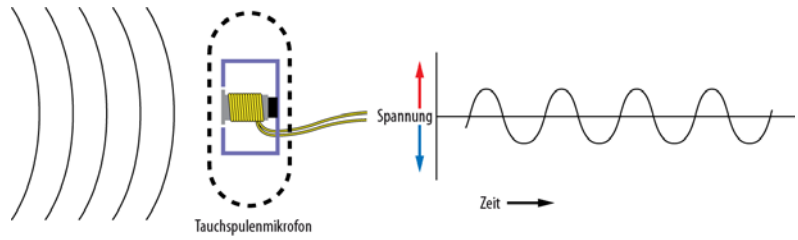


Abbildung 5-27. *Schritt 2: Die Druckwellen durchdringen den durchlässigen Korb eines Mikrofons und bringen die Membran zum Mitschwingen. An der Membran ist eine Spule befestigt. Wenn die Spule hin und her vibriert, induziert ein Magnet darin einen Wechselstrom.*

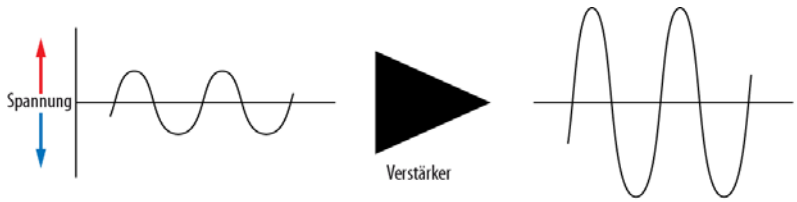


Abbildung 5-28. *Schritt 3: Die schwachen Signale vom Mikrofon fließen durch einen Verstärker, der ihre Amplitude vergrößert und dabei ihre Frequenz und die Form der Welle beibehält.*

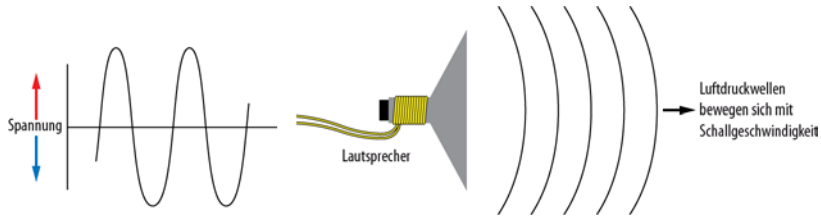


Abbildung 5-29. *Schritt 4: Das verstärkte elektrische Signal wird durch eine Spule an einer Lautsprechermembran geleitet. Das Magnetfeld, das vom Stromfluss induziert wird, lässt die Membran vibrieren, was den ursprünglichen Schall wiederherstellt.*

Experiment 28: So reagiert eine Spule

Ein Kondensator nimmt Gleichspannung auf, bis er voll geladen ist. Dann blockiert er den Stromfluss. Es gibt ein anderes Phänomen, dass ich bisher nicht erwähnt habe und dass das genaue Gegenteil von Kapazität ist. Es wird als Selbstinduktion bezeichnet und geschieht in jeder Drahtspule. Sie blockiert zunächst die Gleichspannung (sie agiert in Gegenrichtung), aber dann lässt diese Gegenreaktion langsam nach. Es folgen einige Definitionen:

Widerstand
: Behindert den Stromfluss und senkt die Spannung.

Kapazität
: Erlaubt zu Beginn den Stromfluss und blockiert ihn dann. Dieses Verhalten nennt man kapazitative Reaktanz.

Selbstinduktivität
: Blockiert zu Beginn den Stromfluss erlaubt ihn dann. Das wird auch oft als induktive Reaktanz bezeichnet. Oft wird dafür auch nur der Begriff »Reaktanz« benutzt, so als wenn es ein und dasselbe wäre, aber ich benutze Selbstinduktivität, weil es der korrekte Fachbegriff ist.

In diesem Experiment wird die Selbstinduktivität veranschaulicht.

Das brauchst du:

- Low-Current-LEDs. Anzahl: 2.
- Schaltdraht auf einer Spule, 0,4 mm Durchmesser, 30 Meter. Anzahl: 1.
- Widerstand, 220 Ω, für 1/4 Leistung oder mehr. Anzahl: 1.
- Elko, 2000 µF oder größer. Anzahl: 1.
- Drucktaster, einpolig. Anzahl: 1.

Ablauf

Schau dir den Schaltplan in Abbildung 5-30 an. Zuerst ergibt er vielleicht keinen Sinn. Das wellige Schaltzeichen ist eine Drahtspule, sonst nichts. Also fließt die Spannung offenbar durch den Widerstand mit 220 Ω, dann durch die Spule. Dabei ignoriert sie die zwei LEDs, weil die Spule offensichtlich einen viel geringeren Widerstand als diese darstellt (und außerdem ist eine der LEDs sowieso falsch herum gepolt).

Was wird passieren? Das finden wir jetzt heraus. Die Spule kann eine Rolle mit rund 30 Metern Schaltdraht sein, aber die Rolle Lackdraht aus Experiment 25 funktioniert noch besser, falls du eine hast. Du musst auch hier an beide Enden des Drahtes herankommen. Wenn du nicht an das innere Ende gelangen kannst, musst du die Rolle ab- und wieder aufwickeln und das Ende herausschauen lassen.

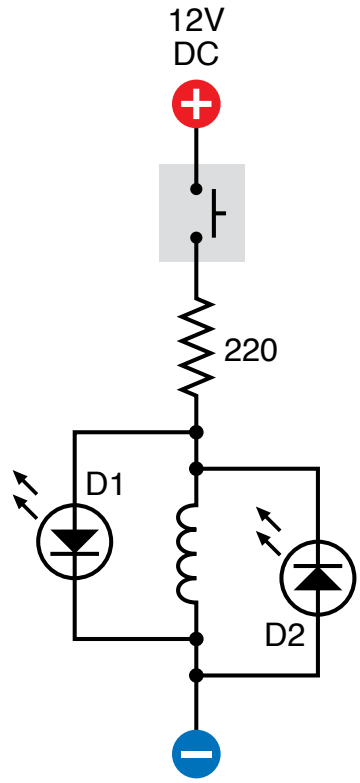


Abbildung 5-30. *In diesem Schaltplan zur Erläuterung der Selbstinduktivität sind D1 und D2 LEDs. Wenn der Schalter geschlossen wird, blitzt D1 kurz auf, weil die Spule zu Beginn den Stromfluss blockiert. Wenn der Schalter geöffnet wird, blitzt D2 kurz auf, da das zusammenfallende Magnetfeld, das von der Spule induziert wurde, noch einen kurzen Stromstoß freisetzt.*

Heiße Widerstände

Du wirst hier ungefähr 50 mA durch den 220-Ω-Widerstand leiten, wenn der Strom fließt. Bei 12 Volt ergibt das 0,6 Watt. Wenn du einen 1/8-Watt-Widerstand benutzt, wirst du ihn überladen und er wird heiß werden und möglicherweise durchbrennen. Wenn du einen 1/4-Watt-Widerstand benutzt, wird dieser auch heiß, brennt aber wahrscheinlich nicht durch, solange du den Taster nicht länger als ein bis zwei Sekunden drückst.

Schalte den Stromkreis nicht ohne die Drahtspule ein: Dann würdest du mehr als 50 mA durch die LEDs leiten.

Sobald du die Spule auf diese Weise verfügbar hast, kannst du sie wie in Abbildung 5-31 mit deinem Steckbrett verbinden. Der grüne Kreis ist der Drucktaster und die zwei roten Kreise sind die LEDs. Achte darauf, Low-Current-LEDs zu benutzen (ansonsten siehst du möglicherweise gar nichts), und achte auch darauf, dass eine von ihnen mit der negativen Seite nach oben zeigt und die andere mit der positiven Seite. Der 200-Ω-Widerstand sollte für eine Leistung von 1/4 Watt (oder mehr, falls möglich) ausgelegt sein. (Siehe die nebenstehende Warnung.)

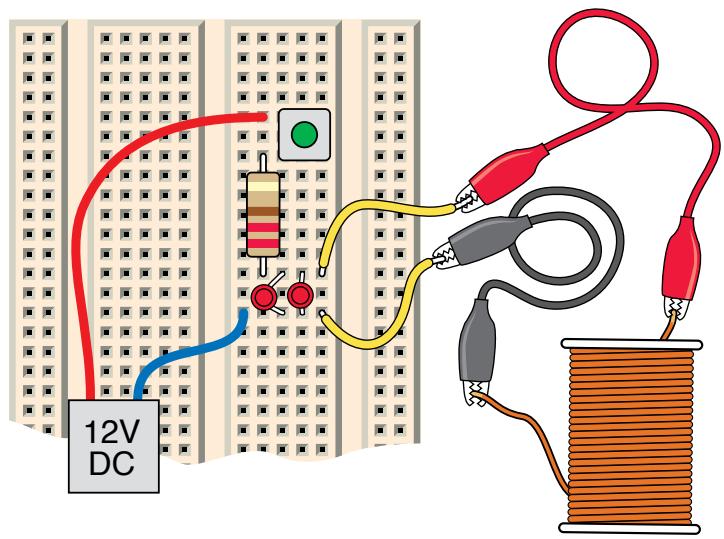


Abbildung 5-31. *Der Steckbrett-Aufbau der Schaltung aus Abbildung 5-30 zeigt, wie man diese für einen schnellen Test zusammensteckt. Der grüne Knopf ist ein Drucktaster. Die zwei roten LEDs sollten so eingesteckt werden, dass ihre Polarität jeweils gegenüber der anderen vertauscht ist.*

Wenn du auf den Taster drückst, sollte eine LED kurz aufblitzen. Wenn du ihn loslässt, sollte die andere LED kurz aufblitzen.

Was passiert hier? Die Spule besitzt Selbstinduktivität. Dies bedeutet, dass sie gegen jede plötzliche Änderung im Stromfluss reagiert. Zuerst hält sie dagegen, und in diesem kurzen Augenblick blockiert sie fast den ganzen Strom. Daher sucht der Strom nach einem anderen Weg und fließt durch D1, die LED links im Schaltplan. (D2 reagiert nicht, weil sie nur den Strom durchlässt, der in die Gegenrichtung fließt.)

Währenddessen überwindet die Spannung die Selbstinduktivität der Spule. Sobald die Selbstinduktivität verschwindet, ist der Widerstand der Spule weniger als 10 Ohm. Dies bedeutet, dass der Strom dann fast nur noch durch die Spule fließt. Weil die LED nur so wenig abbekommt, geht sie wieder aus.

Wenn du den Strom abstellst, reagiert die Spule wieder. Sie kämpft gegen jede plötzliche Veränderung. Nachdem der Stromfluss aufhört, hält die Spule ihn dickköpfig noch für einen Augenblick aufrecht, da das Magnetfeld beim Zusammenfallen wieder in Elektrizität umgewandelt wird. Dieser Reststrom fließt über D2 ab, die rechte LED.

Anders gesagt speichert die Spule Energie in ihrem Magnetfeld. Dies ist damit vergleichbar, wie der Kondensator Energie zwischen seinen zwei Metallplatten speichert. Der Unterschied besteht darin, dass die Spule den Strom zuerst blockiert und ihn dann ansteigen lässt, der Kondensator hingegen nimmt den Strom zuerst auf und blockiert ihn dann.

Je mehr Drahtwindungen du in deiner Spule hast, desto mehr Selbstinduktivität hat die Spule, was die LEDs heller blitzen lässt.

Jetzt noch eine letzte Abwandlung dieses Experiments, um dein Verständnis elektrischer Grundlagen zu testen. Entferne den 200-Ω-Widerstand und stecke einen mit 1 kΩ ein (um deine LEDs vor höherem Strom zu schützen). Entferne die Spule und stecke einen sehr großen Kondensator ein, am besten um 4700 µF. (Achte darauf, ihn richtig gepolt einzustecken.) Was wirst du sehen, wenn du auf den Taster drückst? Achte darauf, dass du ihn für einige Sekunden gedrückt halten musst, um ein Ergebnis zu bekommen. Und was wirst du sehen, wenn du den Taster loslässt? Denke daran: Das Verhalten von Kapazität und das Verhalten von Selbstinduktivität sind gegenteilig.

THEORIE

Wechselstrom

Hier ein einfaches Gedankenexperiment: Stell dir vor, du richtest einen 555-Timer so ein, dass er eine Folge von Impulsen durch eine Spule schickt. Das ist eine primitive Form des Wechselstroms.

Wir könnten uns denken, dass die Selbstinduktivität der Spule die Impulsfolge stören wird, je nachdem, wie lange jeder Impuls ist und wie hoch die Induktivität der Spule ist. Wenn die Impulse zu kurz sind, werden sie sicher von der Selbstinduktivität der Spule blockiert. Wenn wir die Impulse vielleicht genau richtig einstellen können, laufen sie mit der Zeitkonstante der Spule synchron. Auf diese Weise könnten wir eine Spule so »stimmen«, dass genau eine »Frequenz« hindurchgelassen wird.

Was passiert, wenn wir einen Kondensator verwenden? Wenn die Impulse im Vergleich zur Zeitkonstante des Kondensators zu lang sind, wird dieser sie eher blockieren, weil der Kondensator genug Zeit hat, um voll aufgeladen zu werden. Wenn aber die Impulse kürzer sind, kann der Kondensator sich im Rhythmus der Impulse laden und entladen, so dass er sie scheinbar hindurch lässt.

Dieses Buch bietet keinen ausreichenden Rahmen, um das Thema Wechselstrom zu vertiefen. Es ist aber ein umfangreiches und kompliziertes Themenfeld, das zeigt, dass sich Elektrizität auf merkwürdige und wunderbare Weise verhält. Die Mathematik, die dies beschreibt, kann mit Differenzialgleichungen und Imaginären Zahlen eine große Herausforderung werden. Wir können die Wirkungen der Klangfilterung bei einem Lautsprecher und einer Spule aber einfach zeigen.

Experiment 29: Frequenzen filtern

In diesem Experiment wirst du sehen, wie Selbstinduktivität und Kapazität benutzt werden können, um Schallfrequenzen zu filtern. Du wirst eine Frequenzweiche bauen: Eine einfache Schaltung, die niedrige Frequenzen an einen Ort und hohe an einen anderen Ort sendet.

Das brauchst du:

- Lautsprecher, 8 Ω, ca. 13 cm Durchmesser. Anzahl: 1. Abbildung 5-32 zeigt ein typisches Beispiel.
- Audioverstärkler, STMicroelectronics TEA2025B oder ähnlich. Anzahl: 1. Siehe Abbildung 5-33.

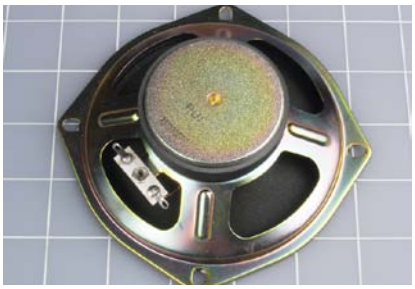


Abbildung 5-32. *Um die Wirkung von Klangfiltern mit Spulen und Kondensatoren auch hören zu können, brauchst du einen Lautsprecher, der tiefere Frequenzen wiedergeben kann. Er sollte nicht kleiner sein als 12 cm.*

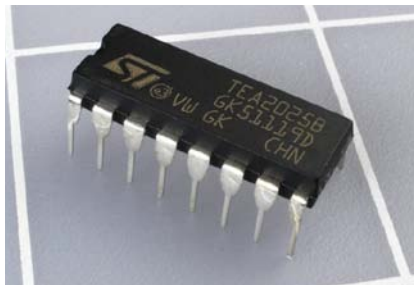


Abbildung 5-33. *Dieser einzelne Chip enthält einen Stereoverstärker, der insgesamt 5 Watt an einem 8-Ω-Lautsprecher leisten kann, wenn beide Kanäle zusammengelegt werden.*

Abbildung 5-34. *Ein bipolarer Elektrolytkondensator, auch als ungepolter Kondensator bezeichnet, sieht genau so aus wie ein Elko, weist aber den Aufdruckt »NP« oder »BP« auf.*

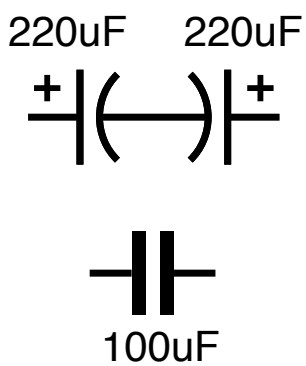


Abbildung 5-35. *Du kannst einen bipolaren Elko auch herstellen, indem du zwei normale Elkos in Reihe schaltest. (Genau das würdest du auch vorfinden, wenn du einen echten bipolaren Elko öffnen würdest.) Das untere Schaltzeichen entspricht in etwa den zwei Symbolen darüber. Achte darauf, dass zwei Kondensatoren in Reihe geschaltet eine Gesamtkapazität haben, die die Hälfte von jeder Einzelkapazität beträgt.*

- Bipolarer Elektrolytkondensator (auch als ungepolt bezeichnet). 47 µF. Anzahl: 2. Ein Beispiel ist in Abbildung 5-34 zu sehen. Oft sind solche Kondensatoren mit »NP« oder »BP beschriftet.
- Bipolarer Elektrolytkondensator (auch als ungepolt bezeichnet). 100 µF. Anzahl: 5. (Weil du mit Audiosignalen arbeiten wirst, die zwischen positiv und negativ schwanken, kannst du nicht die normalen polaren Elkos benutzen. Wenn du den Aufwand und die Kosten vermeiden willst, bipolare Kondensatoren zu kaufen, kannst du auch einfach zwei normale Elkos in Reihe benutzen, deren negative Anschlüsse in der Mitte verbunden werden. Vergiss nur nicht, dass die Gesamtkapazität die Hälfte der Einzelkapazitäten ist, wenn du Kondensatoren in Reihe schaltest. Daher brauchst du zwei Elkos mit 220 µF in Reihe, um eine Kapazität von 100 µF zu erzeugen. Siehe Abbildung 5-35.)
- Potentiometer mit 100 kΩ, logarithmisch, wenn möglich. Anzahl: 1.
- Spule für Frequenzweichen. Anzahl: 1. Du kannst online z.B. bei eBay danach suchen. Wenn du keine Spule mit einem vernünftigen Preis findest, kannst du auch mit einer 30-m-Rolle Draht mit 0,8 mm Durchmesser arbeiten.
- Kunststoffbox. Anzahl: 1.

Ablauf

Der Audioverstärker-Chip ist dafür da, genug Leistung für einen ordentlichen Klang aus deinem Lautsprecher zur Verfügung zu stellen. Wir benutzten einen größeren Lautsprecher, damit du Klänge mit niedrigeren Frequenzen hören kannst, als es mit dem Kleinlautsprecher bisher ging. Bassnoten haben lange Wellenlängen, die kleine Lautsprecher nicht effektiv erzeugen können.

Du erinnerst dich vielleicht noch vom Zusammenbauen der Alarmanlage her daran, dass ein Lautsprecher viel lauter klingt, wenn du verhinderst, dass die Schallwellen von der Rückseite der Membran die Schallwellen von der Vorderseite auslöschen. Das gelingt am einfachsten, wenn wir den Lautsprecher mit einer Kiste umschließen. Ich schlage eine einfach Kunststoffbox vor, weil sie billig ist und wir uns nicht so sehr um die Klangqualität bemühen, solange wir wenigstens einige der niedrigen Frequenzen hören können. Die Abbildung 5-36 zeigt den Lautsprecher, der am Boden einer Kunststoffbox festgeschraubt wurde, Abbildung 5-37 zeigt die umgedrehte Box, nachdem der Deckel geschlossen wurde.

Normalerweise sollte ein Lautsprecher in ein Gehäuse aus schwerem, dicken Material eingebaut werden, das eine sehr niedrige Resonanzfrequenz hat, unter der Grenze des menschlichen Gehörs. Um die Resonanz der Plastikbox zu verringern, kannst du auch etwas weiche, schwere Stoffe hineinlegen, bevor du den Deckel aufsetzt. Ein Handtuch oder einige Socken reichen aus, um einen Teil der Vibrationen zu absorbieren.

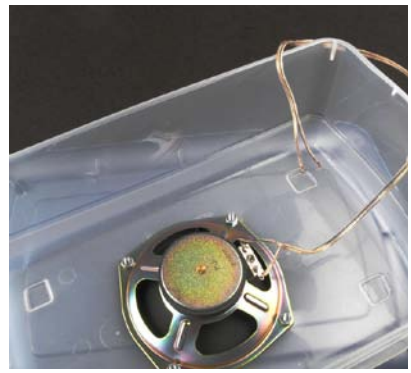


Abbildung 5-36. *Um den Bass (tiefe Frequenzen) mit deinem Lautsprecher hören zu können, ist ein mitschwingendes Gehäuse notwendig. Eine billige Kunststoffbox reicht für Demonstrationszwecke aus.*

Abbildung 5-37. *Bohre einige große Löcher in den Boden der Box und schraube den Lautsprecher fest. Das Kabel wird durch ein Loch herausgeführt. Setze den Deckel auf, dann hast du alles für nicht-ganz-Hifi-Sound.*

Hinzufügen des Verstärkers

In den 1950er Jahren brauchte man Vakuumröhren, Transformatoren und andere schwere Bauteile mit hohem Stromverbrauch, um einen Audioverstärker zu bauen. Heute kannst du einen Chip für rund 30 Cent kaufen, der diese Arbeit erledigt, wenn du einige Kondensatoren und eine Lautstärkeregelung hinzufügst. Der TEA2025B, den ich empfehle, war für den Einsatz in billigen tragbaren Kassetten- und CD-Spielern gedacht und kann in Stereo oder Mono betrieben werden, mit einer Spannungsquelle von 3 bis 9 Volt. Wenn man 9 Volt anlegt und beide Seiten des Chips verbindet, um einen Lautsprecher mit 8 Ω anzutreiben, kann man 5 Watt Audioleistung erzeugen. Das klingt nach nicht sehr viel, wenn man es mit einer normalen Heimkino-Anlage vergleicht, das 100 Watt pro Kanal hat, aber da die Lautheit eine logarithmische Skala hat, reichen 5 Watt deutlich aus, um Familienmitglieder im selben Zimmer (und möglicherweise auch in den nächsten Zimmern) zu stören.

Wenn du keinen TEA2025B-Chip finden kannst, eignet sich auch jede Alternative, die als Audioverstärker aufgeführt ist. Versuche einen zu finden, der einen Mono-Lautsprecher mit 8 Ω mit bis zu 5 Watt betreiben kann. Sieh im Datenblatt des Herstellers nach, wo Kondensatoren angeschlossen werden müssen. Achte sorgfältig darauf, ob bei einigen der Kondensatoren keine Polarität angegeben ist, auch wenn sie ziemlich hohe Werte wie z.B. 100 µF haben. Diese Kondensatoren müssen funktionieren, egal in welche Richtung der Wechselstrom fließt. (In Katalogen findest du sie auch z.T. mit der Bezeichnung »np« für

»nonpolarized«, ungepolt.) Wie auf dem Einkaufszettel schon vermerkt wurde, kannst du zwei 220-µF-Kondensatoren Minus an Minus in Reihe schalten, um dasselbe Ergebnis wie mit einem bipolaren 100-µF-Kondensator zu erhalten.

Bei diesem Projekt ist es unbedingt notwendig, den normalen Glättkondensator mit 100 µF zwischen die Pole der Stromversorgung zu schalten. Andernfalls fängt der Verstärker kleine Spannungsspitzen im Schaltkreis auf und verstärkt sie natürlich auch.

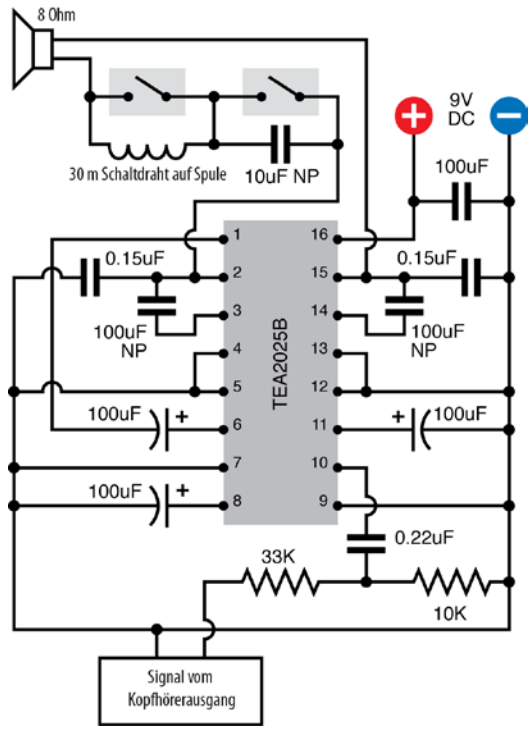


Abbildung 5-38. *Der Audioverstärker-Chip sollte so mit Kondensatoren verbunden werden. »BP« kennzeichnet die bipolaren Kondensatoren. Oft werden diese auch als »NP« (nicht polarisiert) bezeichnet. Das Ausgangssignal von Pin 2 und Pin 15 des Chips kann durch eine Spule oder einen 10-µF-Kondensator geführt werden, um die Klangfilterung zu verdeutlichen.*

Abbildung 5-39. *Um das Kopfhörersignal eines Musik-Players abzugreifen, kannst du solch einen Adapter benutzen, wenn du kein passendes Kabel und keine lötbare Klinkenbuchse hast. Dazu steckst du ein Stück Draht in eine der Buchsen. Mit Krokodilklemmen kannst du dann das Signal und die Masse (von der Außenseite der Buchse) an die Schaltung auf deinem Steckbrett anschließen. Weil wir nur einen Lautsprecher benutzen, wird der Verstärker nur mit einem der Stereoausgänge verbunden, den anderen lassen wir einfach weg.*

Der Eingang, der im Schaltplan zu sehen ist, kann eine Signal von einem normalen Abspielgerät, also einem MP3-Player, einem CD-Player oder einem Walkman, erhalten. Du kannst den Kopfhöreranschluss mit dem Steckbrett über ein altes Kopfhörerkabel mit einem offenen Ende oder mit einem passenden Stecker verbinden. Wenn du einen Adapter für die Verbindung von Klinkenstecker mit Cinchbuchsen wie in Abbildung 5-39 hast, kannst du auch hier einen Draht hineinstecken. Der Draht wird mit dem 33-kΩ-Widerstand auf dem Steckbrett verbunden. Der äußere Anschluss der Cinchbuchse muss mit dem Minuspol deiner Stromversorgung auf dem Steckbrett verbunden werden, sonst hörst du gar nichts. Den anderen Ausgang kannst du ignorieren, weil wir hier nur in Mono arbeiten, nicht in Stereo.

Der Widerstand mit 33 kΩ ist dazu gedacht, den Verstärker vor Übersteuerung zu schützen. Wenn von deiner Musikquelle nicht genug Lautstärke ankommt, verringere den Wert von 33 kΩ. Wenn die Musik zu laut und verzerrt ist, erhöhe

den Wert. Du kannst auch versuchen, den 10-kΩ-Widerstand daneben wegzulassen, der hier eingesetzt wird, um Hintergrundbrummen zu verhindern.

Im oberen Teil des Schaltplans sind zwei Schalter: Einer, um die Spule zu umgehen, und ein anderer, um den Kondensator zu umgehen. Du kannst auch Krokodilklemmen benutzen, solange du nur die Klangveränderung je nach eingesetztem Bauteil wahrnehmen kannst.

Abbildung 5-40 zeigt eine Spule, die aus einer Rolle Schaltdraht besteht, in Gebrauch. Die roten und schwarzen Krokodilklemmen, die noch lose auf der Box liegen, werden an den Ausgang des Chips (Pins 2 und 15) angeschlossen. Es gibt keine Polarität, daher ist es egal, an welchen Pin welche Klemme kommt.

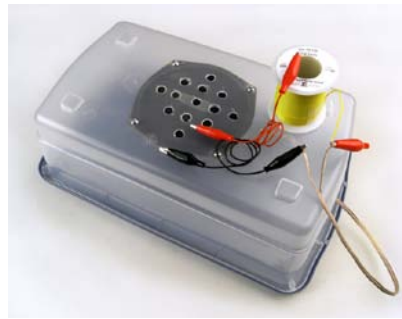


Abbildung 5-40. *Die roten und schwarzen Krokodilklemmen, die auf der Box liegen, werden an den Ausgang des Verstärkerchips angeschlossen. Das rote Kabel leitet das Signal auf dem Weg zum Lautsprecher durch eine Spule aus Schaltdraht. Achte darauf, wie sich der Klang verändert, wenn du die Spule überbrückst.*

Beginne damit, dass du die Lautstärke an deiner Musikquelle ganz herunter regelst, bevor du einschaltest. Wundere dich nicht, wenn du ein Brummen oder Knackgeräusche hörst, wenn du den Verstärker aktivierst: Er empfängt alle möglichen Streuspannungen, weil ich in diesem einfachen Experiment nicht vorgesehen habe, den Eingang abzuschirmen. Die Verstärkerschaltung fängt Störungen auf, da ihre Drähte wie Antennen wirken können.

Du hörst möglicherweise auch ungewollte Geräusche, wenn du den Verstärker auf einer leitfähigen Arbeitsfläche benutzt. Falls du Alufolie oder leitenden Schaumstoff benutzt, entferne sie für dieses Experiment.

Sieh nach, ob dein Player auch Musik abspielt und erhöhe die Lautstärke langsam, bis du sie hören kannst. Wenn du gar nichts hörst, musst du erst nach Fehlern in der Schaltung suchen.

Jetzt kommt der interessante Teil. Stecke die 30-Meter-Rolle Schaltdraht zwischen einen Ausgang des Verstärkers und einen Eingang des Lautsprechers (egal welchen). Wenn du Schalter benutzt hast, öffne den Schalter, der die Spule umgeht. Dir sollte auffallen, dass die Musik alle Höhen verliert. Wenn du zum Vergleich die Spule entfernst und stattdessen einen Kondensator mit 10 µF einsetzt, sollte die Musik »blechern« klingen, was heißt, dass ihr der ganze Tiefenbereich fehlt und nur die hohen Frequenzen übrig bleiben.

Du hast gerade zwei sehr einfache Filter gebaut. Sie funktionieren folgendermaßen:

- Die Spule ist ein Tiefpass-Filter. Sie lässt tiefe Frequenzen passieren, aber sperrt hohe Frequenzen, weil kürzere Tonschwingungen nicht die Zeit haben, die Selbstinduktivität der Spule zu überwinden. Eine größere Spule unterdrückt einen größeren Frequenzbereich.
- Der Kondensator ist ein Hochpass-Filter. Er lässt hohe Frequenzen passieren und sperrt tiefe Frequenzen, weil längere Tonschwingungen die Kapazität auffüllen können, wodurch der Kondensator den Strom nicht mehr leitet. Ein kleinerer Kondensator unterdrückt einen größeren Frequenzbereich.

Man kann noch viel tiefer in das so genannte Filterdesign einsteigen, mit komplexen Kombinationen von Spulen und Kondensatoren, die Frequenzen an jeder Stelle im hörbaren Spektrum sperren können. Wenn du online nach Schaltplänen für Audio-Filter suchst, findest du Hunderte.

Frequenzweichen

In traditionellen Stereoanlagen enthält jede Lautsprecherbox zwei Lautsprecher: Einen kleinen Lautsprecher, den Hochtöner, der die hohen Frequenzen abstrahlt, und einen großen Lautsprecher, den Tieftöner, der die tiefen Frequenzen abstrahlt. (In modernen Anlagen ist der Tieftöner oft in seinem eigenen Gehäuse untergebracht, das überall hingestellt werden kann, weil das menschliche Ohr die Richtung von tiefen Frequenzen nicht gut bestimmen kann.)

Die Schaltung, die du dir gerade angesehen und vielleicht auch nachgebaut hast, nennt man eine »Frequenzweiche«. Besonders audiophile Menschen (die viel Wert auf einen perfekten Klang legen) bauen sich mit viel Enthusiasmus gerne ihre eigenen Frequenzweichen, die genau zu den Lautsprechern ihrer Wahl passen und in selbst entworfenen und gebauten Gehäusen Platz finden (vor allem bei Anlagen in Autos).

Wenn du eine Frequenzweiche bauen willst, solltest du Polyesterkondensatoren von hoher Qualität benutzen (die keine Polarität haben, länger als Elkos halten und besser hergestellt wurden) sowie eine Spule, die die richtige Anzahl von Windungen und die richtige Größe hat, um hohe Frequenzen an der richtigen Stelle abzuschneiden. In Abbildung 5-41 ist ein Polyesterkondensator zu sehen.

Abbildung 5-42 zeigt eine Spule für eine Frequenzweiche, die ich bei eBay für 5 Euro gekauft habe. Ich war neugierig, was drin steckt, also habe ich zwei gekauft und eine auseinander genommen.

Ich habe zuerst das schwarze Klebeband abgezogen, mit dem die Spule ummantelt war. Darin befand sich typischer Kupferlackdraht, der dünn mit Lack oder halbtransparentem Kunststoff beschichtet war, wie man in Abbildung 5-43 sieht. Ich habe den Draht abgewickelt und die Anzahl der Windungen gezählt. Dann habe ich die Länge des Drahtes gemessen und am Ende mit einem Messschieber den Durchmesser des Drahtes ermittelt.

Die Spule selbst ist einfach nur aus Kunststoff mit einem Kern aus Luft, es befindet sich kein Eisen- oder Ferritstab in der Mitte. Abbildung 5-44 zeigt die Rolle und den Draht.

Abbildung 5-41. *Es gibt auch unpolarisierte Kondensatoren, die nicht elektrolytisch sind, wie zum Beispiel dieser hochwertige Polyesterfilm-Kondensator. Sie sind aber sehr viel teurer und in Wertebereichen von 10 µF schwer zu finden.*

Abbildung 5-42. *Welche exotischen Bauteile finden wir wohl in diesem hochwertigen Audio-Baustein, der in einem Subwoofer die hohen Frequenzen blockiert?*

Abbildung 5-43. *Nach der Entfernung des schwarzen Klebebands kommt eine Kupferspule zum Vorschein.*

Abbildung 5-44. *Die Spule der Frequenzweiche besteht aus einer Kunststoffrolle und Draht, sonst nichts.*

Es folgen die technischen Angaben für genau diese Spule in einer Frequenzweiche. 30 Meter Kupferdraht mit 0,51 mm Durchmesser, 200 Mal um einen Kern gewickelt. Spulenbreite: 2,22 cm, Spulenumfang: 1,3 cm. Summe aller einzelnen Einkaufspreise: Vermutlich ca. 1 Euro, wenn du eine Leerspule der passenden Größe bekommst.

Schlussfolgerung: Es wird ein großes Geheimnis um Audiobauteile gemacht. Sie sind oft überteuert und du kannst dir deine eigene Spule wickeln, wenn du mit den genannten Parametern anfängst und sie an deine Bedürfnisse anpasst.

Wenn du also dicke Bassboxen in dein Auto einbauen willst, könntest du dann deinen eigenen Filter bauen, so dass nur die tiefen Frequenzen zu hören sind? Auf jeden Fall, du musst nur eine Spule wickeln und so lange Umdrehungen hinzufügen, bis die gewünschte Menge an hohen Frequenzen wegfällt. Achte nur darauf, dass der Draht dick genug ist, damit er sich nicht überhitzt, wenn du 100 oder mehr Watt an Audioleistung hindurch schickst.

Hier ein anderes Projekt, über das man nachdenken könnte: Eine Lichtorgel. Du kannst den Ausgang deiner Stereoanlage daran anschließen und die Audiofrequenzen mittels Filter in drei Abschnitte unterteilen, die jeweils einen eigenen Satz von bunten LEDs ansteuern. Die roten LEDs würden bei Basstönen, die gelben LEDs bei Frequenzen im mittleren Bereich und die grünen LEDs bei hohen Frequenzen reagieren. (Die Farben kannst du dir natürlich aussuchen.) Du kannst Signaldioden mit den LEDs in Reihe schalten, um den Wechselstrom gleichzurichten, sowie Vorwiderstände einsetzen, um die Spannung durch die LEDs auf ca. 2,5 Volt zu begrenzen (wenn die Lautstärke ganz aufgedreht ist). Mit deinem Multimeter kannst du den Strom messen, der durch jeden Widerstand fließt, und diesen Wert mit dem Spannungsabfall über dem Widerstand multiplizieren. So ermittelst du die Leistung, um sicherzustellen, dass der Widerstand in der Lage ist, so viel Leistung abzuführen ohne durchzubrennen.

Die Audio-Elektronik ist ein Bereich, der sehr viele Möglichkeiten bietet, wenn es dir Spaß macht, deine eigenen Geräte selbst zu entwerfen und zu bauen.

THEORIE

Wellenformen

Wenn man über einen Flaschenhals pustet, hört man einen weichen Klang, der durch die vibrierende Luft in der Flasche verursacht wird. Wenn man die Luftdruckwellen sichtbar machen würde, könnte man eine sehr charakteristische Form erkennen.

Wenn man die Zeit verlangsamen könnte und eine Kurve des Wechselstroms in jeder beliebigen Steckdose in deinem Haus zeichnen würde, würde diese Kurve genau dieselbe Form besitzen.

Wenn man die Geschwindigkeit eines Pendels, das in einem Vakuum hin- und her schwingt, messen und dazu die Geschwindigkeit im Verhältnis zur Zeit in einem Graphen aufzeichnen würde, ergäbe sich auch da wieder diese unverkennbare Form.

Diese Form heißt auch Sinuswelle, weil man sie aus einfacher Trigonometrie ableiten kann. In einem rechtwinkligen Dreieck berechnet man den Sinus eines Winkels, indem man die Länge der Seite, die dem Winkel gegenüberliegt, durch die Länge der Hypotenuse (die schräge Seite des Dreiecks) teilt.

Um das Verständnis zu erleichtern, stell dir einen Ball vor, der an einer Schnur um einen zentralen Punkt rotiert (siehe dazu Abbildung 5-48). Ignoriere die Schwerkraft, den Luftwiderstand und andere Störvariablen. Miss einfach in regelmäßigen Zeitabständen die vertikale Höhe des Balls und teile dies durch die Länge der Schnur, wobei vorausgesetzt wird, dass sich der Ball mit gleichbleibender Geschwindigkeit bewegt. Wenn man diese Ergebnisse nun in einem Diagramm darstellt, hat man auch schon eine Sinuswelle wie in Abbildung 5-49. Wenn der Ball sich unterhalb seiner horizontalen Startlinie bewegt, ist der Abstand negativ, also ist auch die Sinuswelle an dieser Stelle negativ.

Warum jedoch taucht gerade diese spezielle Kurve so häufig in der Natur auf? Die Gründe hierfür liegen in der Physik, und du kannst dich gerne weiter mit diesem Aspekt beschäftigen, wenn du magst. Ich komme aber zu unserem Thema der Schallwiedergabe zurück. Hierbei musst du Folgendes wissen:

- Jeder Klang kann in (viele) Sinuswellen mit unterschiedlicher Amplitude und Frequenz zerlegt werden.

Oder andersherum:

- Mit der richtigen Mischung von akustischen Sinuswellen erzeugt man jeden beliebigen Klang.

Stelle dir vor, es werden zwei verschiedene Klänge zur gleichen Zeit erzeugt. Abbildung 5-50 zeigt den einen Klang als rote, den anderen Klang als hellblaue Kurve. Wenn diese zwei Klänge entweder als Druckwellen durch die Luft oder als elektrische Wechselströme durch ein Kabel geschickt werden, werden die Amplituden der Wellen addiert und ergeben eine komplexe Kurve, die schwarz eingezeichnet ist. Jetzt stelle dir Dutzende oder sogar Hunderte verschiedener Frequenzen vor, die zusammenaddiert werden, und du bekommst eine Vorstellung von der komplexen Wellenform eines Musikstücks.

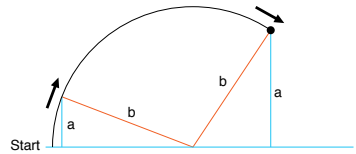


Abbildung 5-45. *Wenn ein Gewicht am Ende einer Schnur (Länge b, siehe Diagramm) einen kreisförmigen Weg bei gleichbleibender Geschwindigkeit zurücklegt, kann man den Abstand zu einer horizontalen Mittellinie (Länge a, siehe Diagramm) im Verhältnis zur Zeit als Kurve darstellen. Der Graph wird eine Sinuswelle darstellen, da in der grundlegenden Trigonometrie das Verhältnis von a zu b der Sinus eines Winkels zwischen Linie b und der horizontalen Grundlinie ist, gemessen vom Zentrum der Rotation. Sinuswellen treten überall in unserer Umwelt auf, ganz besonders aber bei der Klangwiedergabe und beim Wechselstrom.*

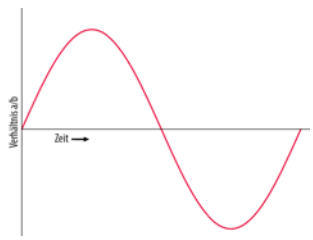


Abbildung 5-46. *So sieht eine »reine« Sinuswelle aus.*

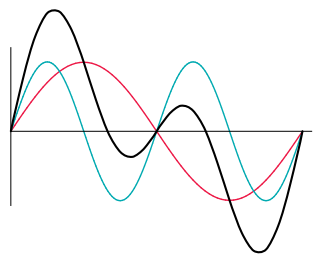


Abbildung 5-47. *Wenn zwei Sinuswellen zur selben Zeit erzeugt werden (z.B. von zwei Musikern, die beide Flöte spielen), entsteht eine zusammengesetzte Kurve. Die blaue Sinuswelle hat die doppelte Frequenz der roten Sinuswelle. Die zusammengesetzte Kurve ist die Summe der Abstände der Sinuswellen von der x-Achse des Graphen.*

THEORIE

Wellenformen (Fortsetzung)

Du kannst mit der einfachen astabilen Schaltung mit dem 555-Timer (Abbildung 5-51) deine eigene Wellenform als Eingangssignal für einen Verstärker erzeugen. Du musst allerdings aufpassen, dass du den Eingang des Verstärkers nicht übersteuerst. Beachte den 680-kΩ-Widerstand am Ausgangspin des Timers. Achte auch auf das 500-Ω-Potentiometer.

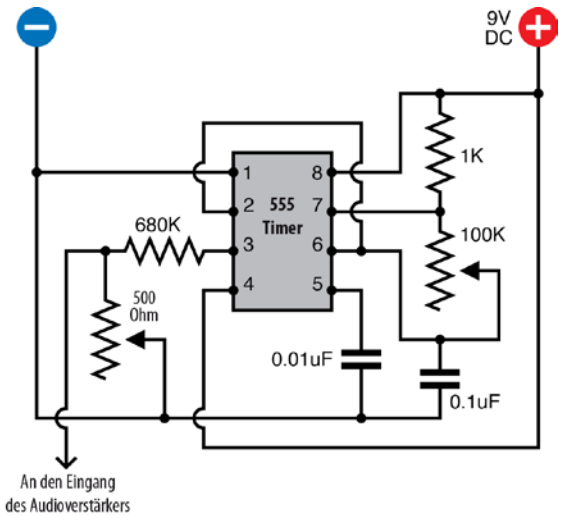


Abbildung 5-48. *Ein 555-Timer wird mit den hier angegebenen Bauteilwerten im astabilen Zustand verkabelt. So kann er eine große Bandbreite hörbarer Frequenzen erzeugen, die man mit dem 100-kΩ-Poti einstellen kann. Nachdem die Leistung des Ausgangssignals reduziert wurde, kann man dieses zu dem bereits verwendeten Verstärkerchip leiten.*

Benutze die Verstärkerschaltung aus Abbildung 5-41. Stecke deinen mp3-Player ab und verbinde den Ausgang der 555-Schaltung mit dem Eingangspunkt (dem 33-kΩ-Widerstand). Du brauchst keine zusätzliche negative Verbindung, solange der 555-Timer auf demselben Steckbrett sitzt und am selben Minuspol angeschlossen ist.

Drehe das 500-Ω-Poti ganz an den Anschlag, so dass der Timer-Ausgang vollständig an den Minuspol geht. Dies ist dein Lautstärkeregler. Achte auch darauf, dass das 100-kΩ-Poti etwa in der Mitte steht. Schalte den Strom ein und drehe das 500-Ω-Poti langsam auf, bis du einen Ton hörst.

Verstelle das 100-kΩ-Poti, um einen tiefen Ton zu erzeugen. Du hörst, dass er nicht »rein« klingt, es gibt einige summende Obertöne. Das liegt daran, dass der 555-Timer Rechteckwellen wie in Abbildung 5-52 und keine Sinuswellen erzeugt. Eine Rechteckwelle ist die Summe von vielen verschiedenen Sinuswellen, von denen einige eine hohe Frequenz haben. Deine Ohren können diese Obertöne wahrnehmen, auch wenn sie anhand der rechteckigen Welle nicht so ohne weiteres auszumachen snd.

Leite eine der Verbindungen, die zum Lautsprecher führen, durch deine Spule aus Schaltdraht. Du solltest dann einen viel reineren Ton hören, da die summenden hohen Frequenzen von der Selbstinduktion der Spule blockiert werden. Entferne die Spule und setze stattdessen einen 10-µF-Kondensator ein. Nun solltest du mehr Summen und weniger Bass hören.

Du hast gerade einen kleinen Schritt Richtung Klangsynthese gemacht. Wenn dich dieses Thema interessiert, kannst du online nach Oszillatorschaltungen suchen. Um genau zu verstehen, wie sich das Verhältnis zwischen den Wellenformen und den hörbaren Klängen darstellt, brauchst du unbedingt ein Oszilloskop, das dir die Form jeder Wellenform zeigen kann, die du entsprechend erzeugst und veränderst.

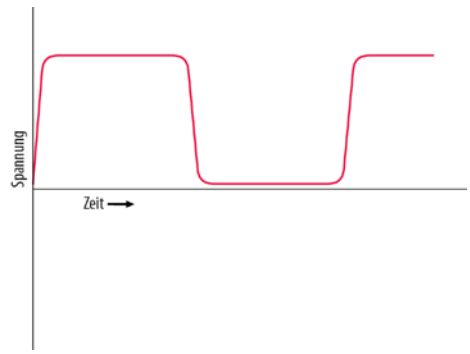


Abbildung 5-49. *Das Ausgangssignal eines 555-Timers ist entweder »an« oder »aus«. Diese zwei Zustände wechseln sehr schnell. Das Ergebnis ist eine fast perfekte Rechteckwelle. Theoretisch kann sie in eine komplexe Überlagerung von Sinuswellen zerlegt werden, die viele verschiedene Frequenzen haben. Das menschliche Ohr kann diese hohen Frequenzen als scharfe Obertöne wahrnehmen.*

Experiment 30: Fuzz

Wir können noch eine Variante der Schaltung aus Experiment 28 ausprobieren. Mit dieser kann man noch ein weiteres grundlegendes Merkmal von Tonsignalen demonstrieren: Verzerrung.

Das brauchst du:

- Noch ein Potentiometer mit 100 kΩ.
- Standard-NPN-Transistoren: 2N2222 oder ähnlich. Anzahl: 2.
- Diverse Widerstände und Kondensatoren.

HINTERGRUNDWISSEN

Clipping

In den frühen Tagen des Hifi-Sounds arbeiteten Tontechniker mit aller Macht daran, den Vorgang der Klangwiedergabe zu perfektionieren. Sie wollten erreichen, dass die Wellenform am Ausgang des Verstärkers genau so wie die Wellenform am Eingang aussieht, mit dem einzigen Unterschied, dass diese Wellenform größer und damit leistungsstärker sein sollte, um Lautsprecher anzusteuern. Selbst eine winzige Verzerrung der Wellenform war damals inakzeptabel.

Sie wussten noch nicht, dass eine neue Generation von Rockgitarristen ihre wunderschön konstruierten Röhrenverstärker missbrauchen würde, um so viel Verzerrung wie möglich zu erzeugen.

Die häufigste Form des »Missbrauchs« der Wellenform wird fachsprachlich als »Clipping« bezeichnet. Wenn man eine Vakuumröhre oder einen Transistor dazu bringen möchte, eine Sinuswelle über die Kapazität des Gerätes hinaus zu verstärken, wird der obere und untere Teil der Kurve abgetrennt (geclippt). Dadurch sieht die Kurve mehr wie eine Rechteckwelle aus. Wie ich im Abschnitt über Wellenformen bereits erklärt habe, hat ein Rechteck eine raue, summende Qualität. Für Rockgitarristen, die ein bisschen mehr Härte in ihre Musik bringen wollen, ist das eigentlich ein gewünschter Effekt.

Abbildung 5-50. *Dieses Wow-Fuzz-Pedal der Firma Vox war eines der ersten Bodeneffektgeräte, die ganz bewusst die Art von Verzerrung nutzten, die Tontechniker jahrzehntelang versuchten loszuwerden.*

Das erste Gerät mit dieser Funktion, das kommerziell angeboten wurde, hieß »Fuzz Box« und begrenzte absichtlich das Eingangssignal. Eine frühe Fuzz Box ist in Abbildung 5-53 zu sehen. Das Clipping der Sinuswelle wird in Abbildung 5-54 gezeigt.

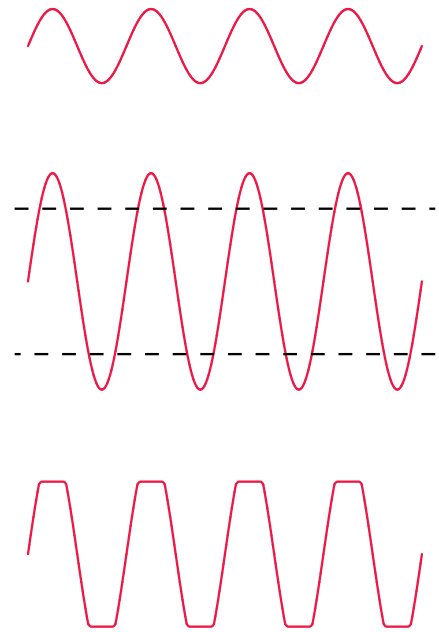


Abbildung 5-51. *Wenn eine Sinuswelle (oben) durch einen Verstärker geschickt wird, der über seinen Grenzen (als gestrichelte Linien dargestellt, Mitte) hinaus aufgedreht ist, beschneidet der Verstärker die Welle (unten), was als »Clipping« bezeichnet wird. Das Ergebnis ist sehr nah an einer Rechteckwelle. Dieser Vorgang ist das Grundprinzip der Fuzz Box, die häufig zur Erzeugung eines harten Gitarrensounds verwendet wird.*

Schaltplan

Der Ausgang eines 555-Timer ist eine Rechteckwelle, klingt also schon ziemlich »fuzzy«, aber wir können den Effekt noch verstärken, um das Prinzip des Clippings zu demonstrieren. Ich habe die ganze Schaltung neu gezeichnet (Abbildung 5-52), weil sich mehrere Bauteile geändert haben. Die wichtigsten Änderungen sind die beiden neu hinzugekommenen NPN-Transistoren.

Wenn du diese Schaltung auf deinem Steckbrett zusammenbaust, achte gut darauf, dass die Widerstände mit 33 kΩ und 10 kΩ am unteren Ende des Verstärkerchips weggefallen sind und dass sich an dieser Stelle jetzt nur ein Widerstand mit 820 Ω befindet. Der untere Anschluss des daneben liegenden 0,22-µF-Kondensators bildet immer noch die Stelle für das Eingangssignal an den Verstärker. Wenn du der Verbindung bis zur Mitte des Schaltplan folgst, siehst du, dass sie zu einem 100-kΩ-Poti führt. Dies ist dein Fuzz-Regler.

Die zwei NPN-Transistoren sind so eingesetzt, dass der linke das Ausgangssignal vom 555-Timer erhält. Dieses Signal steuert den Stromfluss von einem 33-kΩ-Widerstand durch den Transistor. Dieser Stromfluss steuert seinerseits die Basis des rechten Transistors. Der Strom, der durch diesen Transistor fließt, steuert letztendlich den Verstärker.

Stecke die Schaltung ein. Du kannst dann mit dem 100-kΩ-Poti, das am 555-Timer angeschlossen ist, die Frequenz einstellen (wie schonmal durchgeführt) und am Fuzz-Poti herumdrehen, um zu hören, wie der Klang dadurch immer mehr »Biss« bekommt, bis er am Ende ganz im Rauschen untergeht.

Die zwei Transistoren wirken als Verstärker. Natürlich hätten wir sie dafür nicht gebraucht: Das Eingangssignal war für den Verstärkerchip schon mehr als ausreichend. Der Zweck des linken Transistors besteht einfach darin, den rechten Transistor zu überladen, um den Fuzz-Effekt zu erzeugen. Wenn du dann den Ausgang der Transistoren mit dem Fuzz-Regler aufdrehst, überladen diese schließlich auch den Eingang des Verstärkerchips und erzeugen noch mehr Verzerrung.

Wenn du das Ausgangssignal noch verbessern willst, versuche verschiedene Werte für den 1-kΩ-Widerstand und den 1-µF-Kondensator, die zwischen dem Emitter des rechten Transistors und dem Minuspol der Stromversorgung platziert sind. Ein größerer Widerstand sollte den Transistor weniger überladen. Verschiedene Kondensatorwerte sollten die Härte des Klangs beeinflussen.

Online kannst du tatsächlich tausende Schaltpläne für Geräte finden, mit denen du den Sound einer Gitarre verändern kannst. Die Schaltung, die ich hier abgebildet habe, ist eine der einfachsten. Wenn du mehr Möglichkeiten willst, suche online nach »Effektgeräte selber bauen« o.ä. und sieh selbst, was du alles machen kannst.

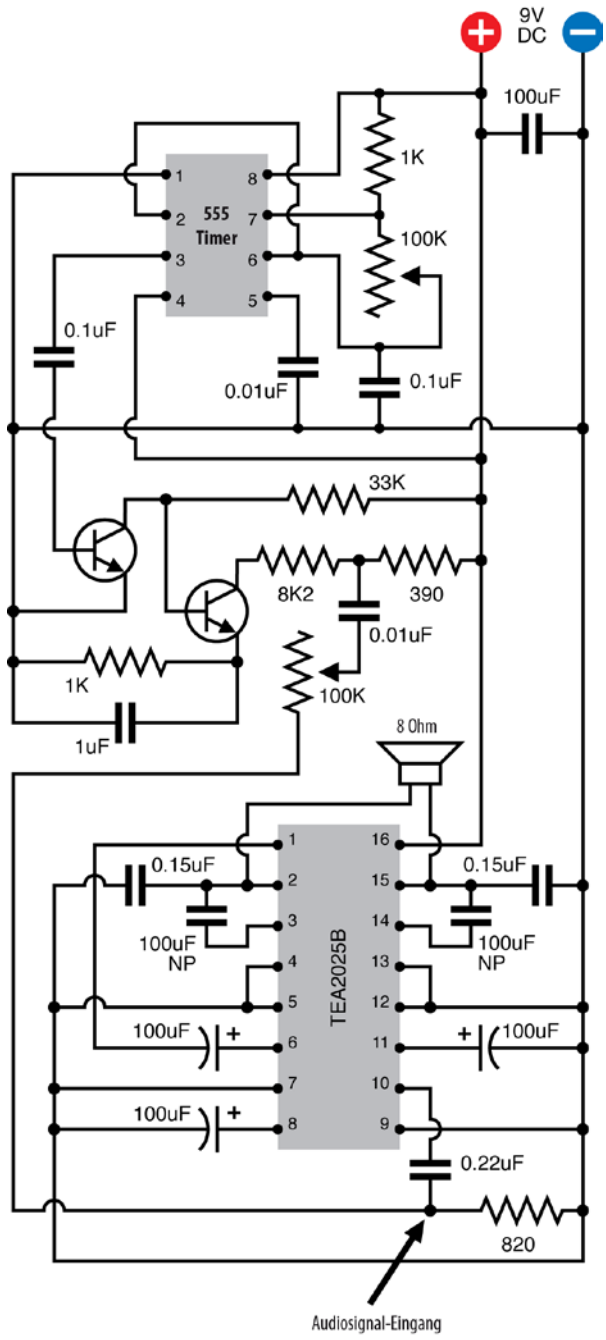


Abbildung 5-52. *Um einen Eindruck vom Clipping zu bekommen, kannst du zwei Transistoren zwischen dem Ausgang des 555-Timers und dem Eingang des Verstärkerchips einsetzen. Ein Transistor übersteuert den anderen, so dass du einen rauen und verzerrten Klang erhältst, dessen Stärke du mit dem Poti in der Mitte der Schaltung steuern kannst.*

HINTERGRUNDWISSEN

Die ersten Effektgeräte

Die Band »The Ventures« nahm 1962 ihre erste Single »The 2,000 Pound Bee« mit Hilfe eines Fuzz-Effektgerätes auf. Das Stück ist wahrscheinlich eines der schlimmsten Instrumentals aller Zeiten. Die Verzerrung wurde hauptsächlich als Spielerei eingesetzt und hat damit wahrscheinlich viele andere Musiker davon abgehalten, die Erfindung ernst zu nehmen.

Ray Davies von den Kinks war der erste, der Verzerrung als einen integralen Bestandteil seiner Musik einsetzte. Ursprünglich verkabelte Davies dazu den Tonausgang eines Verstärkers mit dem Eingang eines anderen Verstärkers, wahrscheinlich auch während der Aufnahme seines Hits »You Really Got Me«. Das führte zu einer Übersteuerung des Eingangs und erzeugte damit das Clipping – den ursprünglichen Fuzz-Effekt. Von da an war es nur noch eine Frage der Zeit, bis auch Keith Richards ein Gibson Maestro Fuzz-Tone verwendete. Es kam zum Einsatz, als die Rolling Stones 1965 »(I Can't Get No) Satisfaction« aufnahmen.

Heute gibt es viele Befürworter verschiedener Mythen der »idealen« Verzerrung. In Abbildung 5-56 habe ich einen Schaltplan von Flavio Dellepiane, einem Schaltungsdesigner aus Italien, verwendet, der seine Werke (mit etwas Hilfe von Google AdSense) auf *http://www.redcircuits.com* verschenkt. Dellepiane hat als Autodidakt den Großteil seines Wissens aus Elektronik-Magazinen wie dem britischen Blatt »Wireless World« erworben. In seinem Fuzz-Schaltkreis benutzt er einen Verstärker mit sehr hohem Verstärkungsgrad, der aus drei Feldeffekttransistoren besteht. Diese können ziemlich genau die abgerundeten Rechteckwellen imitieren, die für einen übersteuerten Röhrenverstärker typisch sind.

Dellepiane bietet auf seiner Seite Dutzende weitere Schaltpläne an, die er mit einem Zweistrahl-Oszilloskop, einem Sinuswellen-Oszillator mit niedriger Verzerrung (damit Audiogeräten einen »reinen« Input erhalten), einem Verzerrungsmessgerät und einem Spannungsmesser entwickelt und getestet hat. Das letztgenannte Gerät und den Oszillator hat er nach eigenen Entwürfen gebaut; auch diese Pläne hat er kostenlos veröffentlicht. Daher ist seiner Website wohl die erste Adresse, wenn man sich für selbstgebaute, elektronische Audiogeräte interessiert und sich in diesem Bereich bilden will.

Vor dem Fuzz-Effekt gab es den Tremolo-Effekt. Viele Leute verwechseln Tremolo mit Vibrato, also stellen wir den Unterschied an dieser Stelle kurz klar:

- Wenn man einen Vibrato-Effekt auf eine Note anwendet, wird die Frequenz nach oben und unten verschoben, so als ob ein Gitarrist an einer Saite zieht.
- Wenn man einen Tremolo-Effekt auf eine Note anwendet, schwankt die Lautstärke, als ob jemand den Lautstärkeregler einer Gitarre sehr schnell hoch und runter dreht.

Harry DeArmond verkaufte die erste Tremolo-Box, die er als »Trem-Trol« bezeichnete. Sie sah mit den zwei Skalen an der Vorderseite und einem Tragegriff wie ein altes Radio aus. DeArmond benutzte gar keine elektronischen Bauteile, vielleicht um Kosten zu sparen. Sein mechanisch aufgebautes Trem-Trol enthielt einen Motor mit einer kegelförmigen Achse, gegen die ein Gummirad drückte. Die Geschwindigkeit des Rades änderte sich, wenn man einen Drehknopf verstellte, um das Rad weiter oben oder unten auf der Achse anzusetzen. Das Rad selbst bewegte eine Kapsel mit »Hydro-Fluid«, in die zwei Drähte eingetaucht werden, über die das Tonsignal übermittelt wurden. Wenn die Kapsel hin und her wackelte, bewegte sich die Flüssigkeit von einer Seite zur anderen, wodurch der Widerstand zwischen den Elektroden schwankte. Dadurch wurde das Ausgangssignal moduliert.

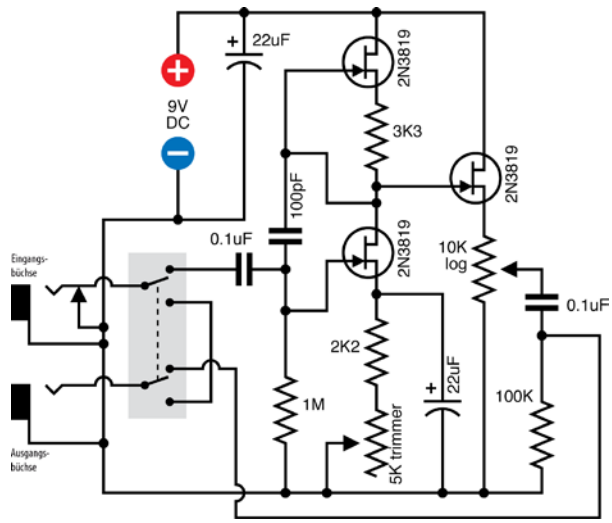


Abbildung 5-53. *In dieser von Flavio Dellepiane entworfene Schaltung werden drei Transistoren benutzt, um die Verzerrung zu simulieren, die man durch die Überlastung des Eingangs eines Röhrenverstärkers erhält.*

HINTERGRUNDWISSEN

Die ersten Effektgeräte (Fortsetzung)

Heute sind Trem-Trols antike Sammlerstücke. Der Industriedesigner Dan Formose hat Fotos eines solchen veröffentlicht, nachdem er stolzer Besitzer geworden war: *http://www.danformosa.com/dearmond.html*. Und Johann Burkard hat eine .mp3-Datei seines DeArmond Trem-Trols veröffentlicht, so dass du es auch hören kannst: *http://johannburkard.de/blog/music/effects/DeArmond-Tremolo-Control-clip.html*.

Dies war nicht die letzte Idee, eine mechanische Quelle zur elektronischen Klangveränderung zu nutzen. Die Original-Hammondorgeln erhalten ihren einzigartigen mächtigen Klang durch eine Reihe von Zahnrädern, die von einem Motor gedreht werden. Jedes Rad erzeugt eine schwankende Induktion in einem Sensor, der dem Tonkopf in einem Tapedeck ähnelt.

Man kann sich einfach andere Möglichkeiten für motorgetriebene Effektgeräte ausdenken. Um zum Tremolo zurückzukommen: Stell dir eine transparente Scheibe vor, die mit schwarzer Farbe bedeckt ist. Nur ein kreisförmiger Streifen, der mal dicker und mal dünner wird, bleibt durchsichtig. Wenn die Scheibe sich dreht, kannst du mit einer hellen LED durch den transparenten Streifen auf einen lichtempfindlichen Widerstand leuchten. Damit hättest du die Basis für ein Tremolo-Gerät. Du könntest sogar bisher nie gehörte Tremolo-Effekte erzeugen, indem du andere Scheiben mit verschiedenen Streifenmustern einsetzt. Abbildungen 5-57 und 5-58 zeigen, was ich mir da vorstelle. Eine richtige Herausforderung für den Konstrukteur wäre ein automatischer Scheibenwechsler!

Heute kann ein Gitarrist aus einer großen Palette von Effekten wählen, die man mit Plänen aus dem Internet alle selbst bauen kann. Es gibt eine Reihe von englischsprachigen Büchern, die sich mit diesem Thema beschäftigen:

- *Analog Man's Guide to Vintage Effects* von Tom Hughes (For Musicians Only Publishing, 2004). Diese Übersicht umfasst jedes klassische Effektgerät und -pedal, das du dir vorstellen kannst.
- *How to Modify Effect Pedals for Guitar and Bass* von Brian Wampler (Custom Books Publishing, 2007). Dies ist ein sehr ausführliches Handbuch für Anfänger mit geringem oder gar keinem Vorwissen. Im Moment ist es nur als Download, z.B. unter *http://www.openlibrary.org* verfügbar, aber du kannst es auch noch als gebrauchtes Buch finden, wenn du nach dem Titel und dem Autor suchst.

Natürlich kannst du auch immer den einfachsten Weg wählen und für rund 180 Euro ein fertiges Produkt wie das Boss ME-20 kaufen, das in einem praktischen Gehäuse mit mehreren Pedalen mit digitaler Signalverarbeitung Effekte wie Verzerrung, Fuzz, Chorus, Phaser, Flanger, Tremolo, Echo, Hall und einige andere nachbildet. Puristen werden natürlich einwenden, dass es einfach »nicht genauso klingt«, aber darum geht es auch nicht. Es gibt einfach einige unter uns, die nur dann glücklich sind, wenn sie ihre eigenen Effektgeräte bauen und diese dann so optimieren können, dass sie den einen Klang, den man nicht kaufen kann und der nur uns gehört, erzeugen können.

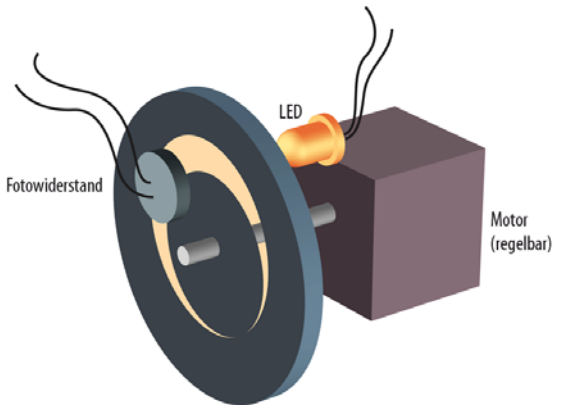


Abbildung 5-54. *Auch wenn elektromechanische Effektgeräte inzwischen veraltet sind, gibt es immer noch einige bisher nicht verfolgte Möglichkeiten. Mit diesem Aufbau könnte man verschiedene Tremolo-Effekte erzeugen, falls jemand die Geduld hätte, es nachzubauen.*

Abbildung 5-55. *Mit dem imaginären elektromechanischen Gerät aus Abbildung 5-57 könnte man mit verschiedenen Streifenmustern eine Vielzahl von Tremolo-Effekten erzeugen.*

Experiment 31: Ein Radio, kein Lötzinn, kein Strom

Jetzt kommen wir noch einmal auf Indukivität und Kapazität zurück, und ich zeige eine Anwendung, bei der auch die Addition von Wellenformen zum Einsatz kommt. Ich will dir zeigen, wie man mit einer einfachen Schaltung ohne Stromversorgung Mittelwellensender empfangen und hörbar machen kann. Diese Schaltung wird als Detektor- oder Kristallempfänger bezeichnet, weil sie eine Germaniumdiode enthält, in der ein Kristall eingeschlossen ist. Diese Idee stammt noch aus den Anfängen der Rundfunkzeit. Du solltest dieses Experiment unbedingt durchführen, da du ansonsten eine wahrhaft magische Erfahrung verpasst.

Das brauchst du:

- Ein festes zylinderförmiges Objekt wie eine Flasche für Vitamintabletten. Anzahl: 1.
- Schaltdraht mit 0,6 mm Durchmesser. Länge: 20 Meter.
- Kupferlitze mit ca 1,25 mm Durchmesser. Länge: 30 Meter.
- Kunststoffleine (Wäscheleine). Länge: 3 Meter.
- Germaniumdiode. Anzahl: 1
- Kopfhörer mit hoher Impedanz. Anzahl: 1

Die Diode und den Kopfhörer kann man z.B. noch bei *http://www.segor.de* bestellen. Du kannst für diese Schaltung keinen modernen Kopfhörer verwenden, wie du ihn z.B. an einem MP3-Player benutzt.

Einige dieser Teile sind in Abbildung 5-56 abgebildet.

Abbildung 5-56. *Du musst nur noch Draht und eine Spule hinzufügen: Mehr brauchst du nicht, um Mittelwellenradio zu empfangen. Die schwarze Scheibe wird auf den Drehkondensator (rechts) geschraubt und dient als Sendereinstellung. (Der Kondensator ist ein optionales Zusatzteil.) Eine Germaniumdiode (Mitte) sorgt für die Gleichrichtung des Signals. Der Ohrhörer (oben) hat eine hohe Impedanz und erzeugt kaum hörbare Töne.*

Zuerst musst du eine Spule herstellen. Sie sollte einen Durchmesser von etwa 8 cm haben. Du kannst sie um jedes leere Glas- oder Kunststoffgefäß dieser Größe wickeln, solange es fest genug ist. Eine dünnwandige Plastikflasche geht eher nicht, weil der Druck der Drahtwicklungen die Flasche so verformen kann, dass sie nicht mehr rund ist.

Ich habe eine Kunststoffflasche genommen, die zufällig genau die richtige Größe hatte. Um das Etikett abzuziehen, habe ich den Klebstoff mit der Heißluftpistole weich gemacht (nur ganz vorsichtig, um die Flasche nicht zu schmelzen) und dann einfach abgezogen. Die Klebstoffreste habe ich mit einem Lösungsmittel (Xylol) entfernt. (Dies ist ein äußerst praktisches Lösungsmittel, weil man außer Kleberesten damit auch Farbe von »Permanent«-Markern entfernen kann. Du solltest aber immer Schutzhandschuhe tragen, um deine Haut vor der Chemikalie zu schützen, und dich auch nicht den Dämpfen aussetzen. Da Xylol einige Kunststoffe auflösen kann, ist es auf keinen Fall gut für deine Lungen.)

Abbildung 5-57. *Eine große, leere Plastikflasche eignet sich ideal als Kern für die Spule eines Detektorradios. Die Löcher dienen der Befestigung des herumgewickelten Drahtes.*

Wenn du eine saubere, stabile Flasche hast, bohre zwei Paare von Löchern hinein, wie in Abbildung 5-57 zu sehen ist. Du wirst sie benutzen, um die Enden der Spule zu befestigen.

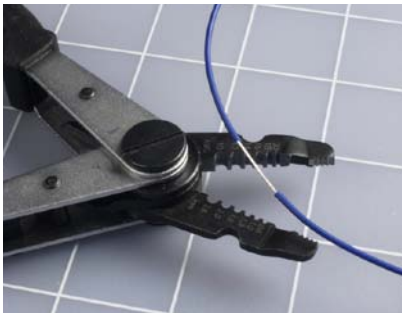


Abbildung 5-58. *Mit einer Abisolierzange wird ein Stück des Leiters eines 0,6-mm-Drahtes freigelegt.*

Abbildung 5-59. *Jedes freigelegte Drahtstück wird mit einer Zange zu einer Öse gedreht.*

Jetzt brauchst du ungefähr 20 Meter Schaltdraht mit 0,6 mm Durchmesser. Wenn du Kupferlackdraht benutzt, kannst du dank der dünneren Isolierung die Windungen enger aneinander legen, wodurch die Spule etwas effizienter wird. Aber du kannst auch ganz normalen Draht mit Kunststoffisolierung verwenden, mit dem man außerdem auch viel einfacher arbeiten kann.

Beginne damit, dass du die ersten 15 cm der Isolierung vom Ende des Drahtes entfernst. Dann messe ab dieser Stelle 128 cm ab und setze deine Abisolierzange an diesem Punkt an, aber schneide nicht den Draht durch. Ziehe die Isolierung mit deinen Daumennägeln auseinander, so dass ungefähr ein Zentimeter blanker Draht zu sehen ist, wie in Abbildung 5-58 zu sehen ist. Biege den Draht in der Mitte zusammen und verdrehe ihn zu einer Öse, wie in Abbildung 5-59 gezeigt wird.

Du hast gerade eine Anzapfung angelegt, also eine Stelle, an der wir die Spule anzapfen können, nachdem du sie fertig gewickelt hast. Du musst noch elf weitere Anzapfungen herstellen, die alle ca. 128 cm voneinander entfernt sein sollten. (Wenn der Durchmesser deiner Flasche, die du als Spulenkern verwendest, nicht bei 8 cm liegt, dann multipliziere ihren Durchmesser mit 16, um den Abstandswert zwischen den Anzapfungen zu erhalten.)

Wenn du zwölf Anzapfungen gemacht hast, schneide den Draht ab und entferne 15 cm Isolierung von dessen Ende. Dann biege den Draht zu einen U, das etwa 1 cm Durchmesser haben sollte. Ziehe den Draht dann durch die zwei Löcher, die du an einem Ende der Flasche gemacht hast, und bilde zur Befestigung eine Schlaufe.

Wickle dann den Rest des Drahts um die Flasche und ziehe ihn dabei so fest, dass die Windungen direkt nebeneinander liegen. Wenn du am Ende des Drahts angekommen bist, fädele ihn zur Befestigung durch die anderen zwei Löcher wie in Abbildung 5-60 zu sehen. Die fertige Spule siehst du in Abbildung 5-61.

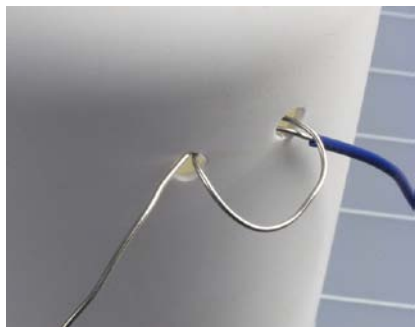


Abbildung 5-60. *Das blanke Ende des Drahtes wird an den Löchern befestigt, die in die Flasche gebohrt wurden.*

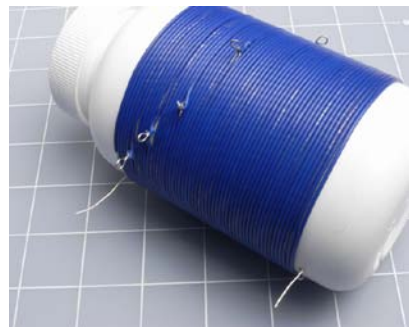


Abbildung 5-61. *Die fertige Spule ist eng um die Flasche gewickelt.*

Als nächstes musst du eine Antenne aufstellen. Wenn du in einem Haus mit Hof oder Garten wohnst, ist das leicht: Öffne einfach ein Fenster, wirf die Rolle mit der Litze nach draußen (halte ein Ende dabei fest) und hänge deine Antenne mit der Wäscheleine an alle vorhandenen Bäume, Dachrinnen und Masten.

Die Gesamtlänge des Kabels sollte etwa 30 Meter betragen. Da, wo es durch das Fenster ins Haus führt, sollte es auch mit Wäscheleine aufgehängt werden. Es geht darum, das Antennenkabel mit größtmöglicher Entfernung vom Erdboden oder von geerdeten Objekten aufzuhängen.

Wenn du in einer Mietwohnung lebst und keinen Zugang zu einem Außenhof hast, kannst du versuchen, deine Antenne im Zimmer mit der Wäscheleine aufzuhängen. Die Antenne sollte auch hier rund 30 Meter lang sein, aber sie hängt dann einfach nicht mehr in einer geraden Linie.

Befestige das freie Ende deiner Antenne mit einem Ende deiner Spule. Jetzt musst du auch die Germaniumdiode anschließen, die wie eine Siliziumdiode funktioniert, aber besser für die winzigen Spannungen und Ströme geeignet ist, mit denen wir es hier zu tun haben. Das andere Ende der Diode wird an einen der beiden Anschlüsse des Ohrhörers mit hoher Impedanz angeschlossen. Ein normaler moderner Ohr- oder Kopfhörer funktioniert an dieser Schaltung nicht. Der andere Anschluss des Ohrhörers wird mit einer Drahtbrücke verbunden, dessen Ende an die Anzapfungen deiner Spule geklemmt werden kann.

Noch eine Änderung, dann kannst du mit der Sendersuche anfangen. Du musst die Drahtbrücke erden. Damit meine ich, dass du sie mit etwas verbindest, das wortwörtlich in die Erde führt. Meistens nimmt man hierzu ein Kaltwasserrohr, aber das funktioniert (natürlich) nur, wenn das Rohr aus Metall ist. Weil heutzutage viele Rohrleitungen aus Kunststoff sind, suchst du möglicherweise eine Alternative. Doch bevor du den Wasserhahn als Erdung nimmst, schau besser erst unter der Spüle nach, ob du Kupferleitungen hast.

Abbildung 5-62. *Das heimliche Vergnügen, ein Radiosignal mit sehr einfachen Bauteilen und ohne Stromversorgung zu empfangen.*

Hochspannung!

Unsere Umwelt ist voller Elektrizität. Normalerweise sind wir uns dessen gar nicht bewusst, aber ein Gewitter erinnert uns immer sehr schnell daran, dass es ein riesiges elektrisches Potenzial zwischen dem Boden unter unseren Füßen und den Wolken über uns gibt.

Benutze eine Außenantenne nie bei Gewitter. Das kann wirklich sehr gefährlich werden. Stecke in diesem Fall das ins Haus führende Ende der Antenne ab, bringe es nach außen und stecke das Ende des Drahtes in die Erde, um jegliche Gefahr zu bannen.

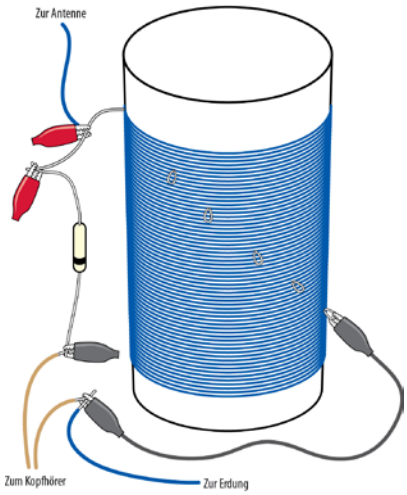


Abbildung 5-63. *Ein Signal von der Antenne kann durch die Spule zur Erdung fließen. Wenn die Krokodilklemme an einer passenden Anzapfung der Spule angebracht ist, schwingt die Spule mit dem Radiosignal mit – gerade so viel, dass der Kopfhörer in Reihe mit der Diode gespeist wird.*

Abbildung 5-64. *So sieht Abbildung 5-66 in natura aus.*

Eine andere Möglichkeit besteht darin, den Draht am Erdungsbügel einer Steckdose zu erden. Wenn du aber nicht genau weißt, was du tust, solltest du dich mit dem Draht lieber von Steckdosen fern halten. Die sicherste Art, eine gute Erdung zu bekommen, ist die, nach draußen zu gehen und einen Erdspieß von einem Meter Länge in feuchte Erde zu hämmern. Im Fachhandel bekommt man solche Spieße, die oft benutzt werden, um Schweißgeräte zu erden.

Die Abbildungen 5-63 und 5-64 zeigen das fertige Radio.

Wenn du es geschafft hast, dieser Anleitung auf die eine oder andere Weise zu folgen, kannst du jetzt dein Radio auf den nächsten Sender einstellen. Bewege die Krokodilklemmen am Ende des Verbindungskabels von einer Anzapfung zur nächsten. Je nachdem wo du lebst, empfängst du vielleicht nur einen Sender oder auch mehrere, manchmal auch gleichzeitig.

Vielleicht entsteht hier der Eindruck, dass es etwas »umsonst« gibt, da der Ohrhörer Töne von sich gibt, ohne dass eine Stromquelle angeschlossen ist. Aber in Wirklichkeit gibt es eine Stromquelle: Die Sendeanlage der Radiostation. Ein großer Verstärker pumpt Leistung in den Sendeturm und moduliert eine feststehende Frequenz. Wenn die Kombination aus deiner Spule und Antenne mit dieser Frequenz mitschwingt, saugst du gerade so viel Spannung und Strom auf, um einen Ohrhörer mit hoher Impedanz zu betreiben.

Du musstest eine gute Erdung herstellen, weil Radiosender ihr Signal mit einer Spannung ausstrahlen, die relativ zum Erdpotential ist. Die Erdung vervollständigt den Stromkreis zwischen dir und der Sendeanlage. Für mehr Informationen darüber und über andere Prinzipien des Rundfunks schau dir den folgenden Abschnitt an: »Theorie: Wie Funk funktioniert.«

Verbesserungen

Je höher deine Antenne angebracht ist, desto besser sollte sie funktionieren. Das ist für mich ein großes Problem, weil ich in einer Wüstengegend ohne Bäume wohne. Trotzdem konnte ich ein schwaches Radiosignal empfangen, indem ich das Kabel aus meinem Fenster gehängt habe und es (mit einer Leine) an der Stoßstange meines Autos befestigt habe.

Um die Empfindlichkeit deines Radios zu verbessern, kannst du einen variablen Kondensator (Drehkondensator) verwenden, der im folgenden Abschnitt gezeigt wird. Damit kannst du die Resonanz deiner Schaltung genauer einstellen. Drehkondensatoren sind heute kaum noch in Benutzung, aber man bekommt sie noch in einigen Online-Shops, z.B. unter *http://www.ak-modul-bus.de*.

Um eine optische Rückmeldung über die Empfangsstärke zu bekommen, kann man auch die Germaniumdiode aus der Schaltung nehmen und durch eine Low-Current-LED in Reihe mit einer 1,5-Volt-Batterie ersetzen. Dies funktioniert aber nur, wenn man nah genug an einem Sender wohnt.

THEORIE

So funktioniert Funk

Wenn elektrische Frequenzen sehr hoch sind, kann die Strahlung, die sie erzeugen, viele Kilometer überwinden. Dies ist das Prinzip der Funkübertragung: Eine Spannung mit hoher Frequenz wird an eine Sendeantenne relativ zur Erde angelegt.

Wenn ich hier von »Erde« spreche, meine ich tatsächlich den Planeten unter uns. Wenn du eine Empfangsantenne aufstellst, kann sie eine schwache Spur der Sendung relativ zum Erdboden auffangen, so als ob die Erde ein großer Leiter wäre. Die Erde ist tatsächlich so riesig und enthält so viele Elektronen, dass sie als gemeinsame Stromsenke wirken kann, wie eine riesige Version des Aktenschranks, den du berühren solltest, um die statische Elektrizität in deinem Körper los zu werden, bevor du einen CMOS-Logikchip anfasst.

Um einen Radiosender zu bauen, könnte ich einen 555-Timer nehmen, der mit z.B. 850 kHz (850.000 Schwingungen pro Sekunde) läuft, und die betreffende Impulsfolge durch einen Verstärker an einen Sendemast leiten. Wenn du eine Möglichkeit hättest, all die anderen elektromagnetischen Aktivitäten in der Luft zu blockieren, könntest du mein Signal empfangen und wieder verstärken.

Genau das tat Marconi (zu sehen in Abbildung 5-68) im Jahr 1901, nachdem er die Rechte an Edisons Patent zur drahtlosen Telegrafie gekauft hatte. Er musste die Oszillationen aber mit einer primitiven Funkenstrecke anstelle eines 555-Timers erzeugen. Seine Sendungen waren nur begrenzt nutzbar, weil sie nur zwei Zustände hatten: An oder Aus. Man konnte Botschaften im Morsecode senden, das war alles.

Abbildung 5-65. *Marconi, der große Funkpionier (Foto aus Wikimedia Commons).*

Fünf Jahre später wurde das erste echte Tonsignal übertragen, indem man niedrigere Schallfrequenzen auf die hochfrequente Trägerwelle aufsetzte. Anders gesagt wurde das Tonsignal zur Trägerfrequenz »hinzuaddiert«, so dass sich die Leistung der Trägerwelle mit den Wellenbergen und -tälern des Schalls veränderte.

Auf der Empfangsseite erkannte eine sehr einfache Kombination aus einem Kondensator und einer Spule die Trägerfrequenz zwischen all dem Rauschen im elektromagnetischen Spektrum. Die Werte des Kondensators und der Spule wurden so gewählt, dass die Schaltung auf der gleichen Frequenz wie die Trägerwelle mitschwang. Diese Idee wird in den Abbildungen 5-66 und 5-67 dargestellt.

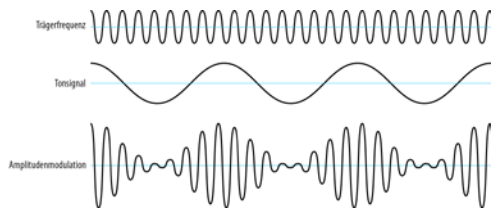


Abbildung 5-66. *Wenn ein Tonsignal (Mitte) elektronisch mit einer hohen Trägerfrequenz (oben) kombiniert wird, sieht das Ergebnis in etwa wie das zusammengesetzte Signal unten aus. In Wirklichkeit ist die Trägerfrequenz viel höher als die Tonfrequenz, und zwar mit einem Faktor von ca. 1000:1.*

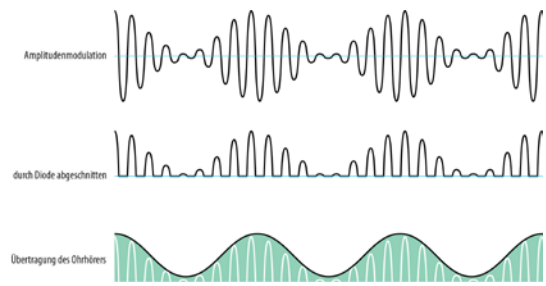


Abbildung 5-67. *Wenn das zusammengesetzte Signal durch eine Diode geleitet wird, bleibt nur die obere Hälfte übrig. Ein Ohrhörer kann nicht schnell genug schwingen, um die hohe Trägerfrequenz abzubilden, also »reitet« er nur auf den Wellenbergen und stellt so die Tonfrequenz wieder her.*

Der Schaltplan in Abbildung 5-71 zeigt den einfachen Stromkreis, den du baust, indem du eine Spule um eine leere Plastikflasche wickelst. Sobald die Antenne einen positiven Impuls auffängt, schwingen Antenne und die Spule mit diesem mit, sofern die Antenne lang genug ist und die Spule nach der richtigen Anzahl der Windungen angezapft wird.

THEORIE

So funktioniert Funk (Fortsetzung)

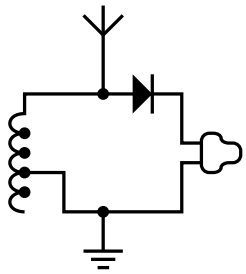


Abbildung 5-68. *Eine Antenne oben im Schaltplan empfängt eine schwache elektromagnetische Strahlung eines entfernten Senders. Die Spule auf der linken Seite wird in Abständen angezapft, so dass ihre Resonanz auf die Trägerfrequenz des Funksignals angepasst werden kann. Andere Frequenzen werden geerdet (am unteren Ende des Schaltplans). Die Diode lässt nur die »obere Hälfte« des Signals an den Ohrhörer rechts durch, der nicht schnell genug reagieren kann, um die Trägerfrequenz wiederzugeben. Dadurch filtert er diese heraus, so dass nur die darauf überlagerten Tonfrequenzen übrig bleiben.*

Indem man einen Kondensator hinzufügt, kann man die Schaltung einstellen. Jetzt wird ein empfangener Impuls vom Sender anfangs von der Selbstinduktivität der Spule blockiert. Dabei wird der Kondensator geladen. Wenn nach einem Intervall, dass mit den Werten der Spule und des Kondensators richtig synchronisiert ist, ein ebenso negativer Impuls empfangen wird, geschieht dies gleichzeitig mit der Entladung des Kondensators und der Durchleitung der Spule. Auf diese Weise bringt die richtige Frequenz der Trägerwelle die Schaltung dazu, harmonisch mitzuschwingen. Gleichzeitig werden Tonfrequenzschwankungen bei der Signalstärke in Spannungsschwankungen bei der Schaltung umgewandelt.

Was passiert mit den anderen Frequenzen, die die Antenne empfängt? Die niedrigeren fließen durch die Spule in die Erde, die höheren fließen durch den Kondensator in die Erde. Sie werden einfach »weggeworfen«.

Die rechte Hälfte der Schaltung tastet das Signal ab, in dem sie es durch eine Germaniumdiode und einen Ohrhörer leitet. Die Leistung des Senders reicht gerade so aus, um die Membran im Kopfhörer vibrieren zu lassen, nachdem die Diode die negative Hälfte des Signals abgezogen hat.

Schau dir noch einmal die Kurve des amplitudenmodulierten Signals an. Du siehst, dass sie so schnell auf und ab schwankt, dass der Ohrhörer gar nicht mit den Änderungen zwischen positiv und negativ Schritt halten könnte. Die Membran würde träge in der Mitte zwischen beiden Auslenkungen stehen bleiben und gar keinen Schall abgeben. Daher wird die Diode gebraucht. Sie löst das Problem, indem sie die untere Hälfte der »Hüllkurve« abzieht und nur die positiven Spitzen der Spannung übrig lässt. Diese sind immer noch sehr kurz und schnell, aber drücken jetzt alle die Membran im Ohrhörer in dieselbe Richtung, so dass sie im Mittel ungefähr wie die ursprüngliche Schallwelle aussehen.

Abbildung 5-72 zeigt, wie die Schaltung mit einem Drehkondensator verbessert werden kann, um sie einzustellen, ohne die Spule in Abständen anzapfen zu müssen.

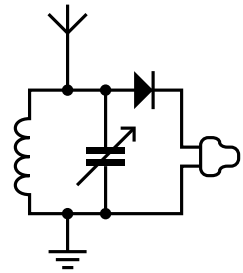


Abbildung 5-69. *Man kann die Schaltung viel genauer einstellen, indem man einen Kondensator hinzufügt. Der diagonale Pfeil zeigt an, dass es sich um einen Drehkondensator handelt.*

Das Radio kann die Sender im AM-Band (AM = Amplitudenmodulation) empfangen, die in deiner Umgebung stärksten sind. Das Wellenband reicht von 300 kHz bis 3 mHz. Wenn dich das Thema Radio interessiert, könntest du als nächstes ein Verstärkerradio mit zwei Transistoren bauen. Oder du kannst deinen eigenen (legalen) schwachen Mittelwellensender bauen. Es gibt dafür entsprechende Bausätze, die nur zwei Hauptbestandteile haben: Einen Kristalloszillator und einen Transformator, wie sie in Abbildung 5-73 zu sehen sind. Mehr braucht man nicht.

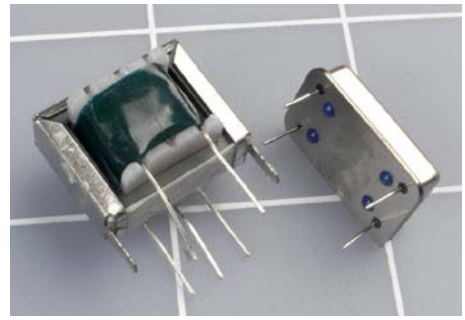


Abbildung 5-70. *Ein Mittelwellensender kann aus nur zwei Bauteilen hergestellt werden: einem Transformator (links) und einem Kristalloszillator (rechts), die man online kaufen kann.*

Experiment 32: Ein kleiner Roboterwagen

Die Robotik ist ein anderes Anwendungsgebiet der Elektronik, das ein eigenes Buch verdient (oder sogar mehrere Bücher). Also werde ich dir auch hierzu eine Einführung geben, gefolgt von einigen Ansätzen, die du weiter verfolgen kannst, wenn es dich interessiert. Wie immer fange ich mit dem einfachsten Gerät an, das möglich ist. In der Welt der Robotik ist das ein kleiner Wagen, der sich selbst in deinem Wohnzimmer zurecht findet.

Das brauchst du:

- Mikroschalter, die einen minimalen Druck brauchen, um aktiviert zu werden. Eine Kraft zwischen 0,02 und 0,1 Newton wäre ideal. Anzahl: 2. Siehe Abbildung 5-71.
- Gleichstrom-Getriebemotor für eine Spannung von 5 bis 12 Volt, Stromaufnahme maximal 100 mA im Leerlauf, Drehzahl zwischen 30 und 60 1/min. Anzahl: 1. Ein Motor ist in Abbildung 5-72 abgebildet.
- Scheibe oder Hebel, beide müssen fest auf die Achse des Motors passen. Anzahl: 1.
- 555-Timer. Anzahl: 1.
- Zweipoliges Umschaltrelais für dieselbe Spannung wie bei deinem Motor. Anzahl: 1.
- Sperrholz oder Kunststoff, 6 mm dick, eine Platte von ca. 50 x 50 cm.
- Blechschrauben, 2,9 mm Gewinde, 16 oder 19 mm lang. Anzahl: Zwei Dutzend.
- M4-Gewindeschrauben, 20 mm lang, mit Sicherungsmuttern. Anzahl: Zwei Dutzend.
- M6-Gewindeschrauben, 25 mm lang, mit Muttern, um die Räder zu befestigen. Anzahl: 4.

Ich gebe hier keinen speziellen Motor an, weil er nicht mehr erhältlich sein könnte, wenn du das liest. Motoren sind nicht wie Logikchips, die ihre Grundfunktion auch nach verschiedenen Verbesserungen über mehrere Jahrzehnte beibehalten haben. Motoren kommen und gehen und viele, die du finden wirst, sind überschüssige Waren, die vermutlich nie wieder auftauchen werden. Suche online nach »Getriebemotor« und versuche einen zu finden, dessen Eigenschaften so weit wie möglich den hier angegebenen entsprechen. Es ist nicht so wichtig, wie viel mechanische Leistung der Motor erzeugen kann, weil er keine große Arbeit leisten muss.

Eine wichtige Überlegung beim Kauf des Motors ist die, dass du auch ein Teil brauchst, dass auf seine Ausgangswelle passt. In der Regel sollte das eine Scheibe oder ein Hebel sein, der festgeschraubt wird. Daran kannst du dann ein eigenes größeres Rad befestigen, das du mit einer Lochsäge aussägen kannst oder aus dem Deckel eines Schraubdeckelglases oder einem anderen runden Objekt herstellen kannst.

Abbildung 5-71. *Ein Mikroschalter hat einen kleinen Taster (im Bild vorne rechts), der oft durch einen beweglich gelagerten Hebel ausgelöst wird. Der Schalter reagiert schon auf sehr leichten Druck, kann aber relativ hohe Ströme aushalten.*

Abbildung 5-72. *Für den kleinen Roboterwagen habe ich diesen 5-Volt-Motor gefunden, dem eine Scheibe beilag, die auf seine Achse passt. Das Set hat weniger als 10 Euro gekostet.*

Mit einem größeren Rad kann sich dein Wagen schneller bewegen als mit einem kleineren Rad. Dabei sinkt aber sein Drehmoment und damit auch seine Fähigkeit, Hindernisse zu überwinden.

Dies führt mich zu meinem nächsten Thema: Konstruktion. Auch wenn es sich hier um ein Elektronikbuch handelt, sind Motoren elektromechanische Bauteile und du musst sie in einer Art Maschine befestigen können, um damit interessante Resultate zu erziehen. Du kannst diese zwei kleinen Robotik-Projekte mit Sperrholz bauen (idealerweise die Sorte dünnes, glattes Sperrholz, das man in Bastelläden kaufen kann), aber ich empfehle dir etwas, das besser aussieht und mit dem man einfacher arbeiten kann: ABS-Kunststoff. Bevor du mit dem Roboterwagen anfängst, solltest du den Abschnitt »Grundlagen: Alles über ABS« durchlesen.

GRUNDLAGEN

Alles über ABS

Wenn du denkst, dass die Steampunk-Bewegung wohl doch etwas weiter zurückliegt, dann wirst du wahrscheinlich auch nicht wollen, dass dein selbstständiger Roboterwagen wie ein Relikt aus dem 18. Jahrhundert aussieht. Deswegen ist Holz wahrscheinlich nicht das beste Baumaterial. Metall sieht nett aus, ist aber schwer zu bearbeiten. Für schnelle Ergebnisse, die auch nach dem 20. Jahrhundert (vielleicht sogar dem 21. Jahrhundert) aussehen, ist Kunststoff die naheliegendste Wahl. Ich glaube, dass ABS die beste Kunststoffart ist, die man benutzen kann, weil man relativ einfach und schnell zu Ergebnissen kommt. ABS bedeutet »Acrylnitril-Butadien-Styrol«. Legosteine sind aus ABS gemacht, und auch Modelleisenbahn-Fans oder Spezialisten für Auto-Hifianlagen benutzen es. Auch du kannst es benutzen. Man kann es sägen, bohren, abschleifen, schnitzen, Schrauben hineindrehen – und es wird sich nicht verziehen, reißen oder zersplittern. Es ist sogar waschbar, muss nicht lackiert werden und wird fast für immer halten.

Delrin ist ein anderer Kunststoff, der aber tendenziell mehr kostet. Man muss schauen, was man persönlich lieber mag. ABS kann man gut mit Maschinen bearbeiten, aber wenn man es z.B. aufbohrt, kann es passieren, dass der Bohrer steckenbleibt und das Stück sich mit dem Bohrer zu drehen beginnt, weil dieser so in den Kunststoff schneidet, dass er sich leicht festsetzt. Delrin ist selbstschmierend und hat bei der maschinellen Bearbeitung in der Hitze bessere Schmelzeigenschaften, daher kann man es sauberer und einfacher schneiden und bohren als ABS, auch wenn das Durchführen dieser Arbeiten selbst wegen der Härte des Materials ein wenig schwieriger ist.

Wo man ABS bekommen kann

ABS-Stücke verschiedener Größen kann man in Online-Shops wie z.B. unter *http://www.hobbydirekt.de* oder über eBay käuflich erwerben. Geld sparen kann man allerdings, wenn man sich an einen regionalen Kunststoffhändler wendet und es dort in großen Platten kauft. Ob man einen Kunststoffhändler in der Nähe hat, erfährt man über die Gelben Seiten oder Google Local.

Oft sind ABS-Platten in schwarz, weiß und einem Naturton, also beige, erhältlich. Die Platten sind normalerweise auf einer Seite strukturiert, das ist die Seite, die nach außen kommt, da sie unempfindlicher in Bezug auf Kratzer ist als die glatte Seite.

Weil man den Kunststoff später nicht lackiert, muss man sehr vorsichtig sein, um das ABS nicht abzunutzen oder zu zerkratzen, wenn man damit arbeitet. Reinige deine Werkbank also sehr sorgfältig, bevor du beginnst, achte dabei besonders auf metallische Partikel, die entfernt werden müssen, weil sie sich sonst in den Kunststoff eindrücken könnten. Benutze eine weichere Auflage auf den Backen deines Schraubstocks und versuche zu vermeiden, dass der Kunststoff aus Versehen auf irgendwelchen scharfen Werkzeugen oder Schrauben liegt. Die Arbeit mit ABS erfordert eine saubere Umgebung und ein sanftes Händchen.

Mit Vorsicht schneiden

ABS kann man sägen – wenn man jedoch eine Tischsäge verwendet, wird der Kunststoff wahrscheinlich schmelzen und am Sägeblatt kleben bleiben. Diese Schlieren werden heiß und klebrig und könnten sehr unangenehm werden, wenn man das nächste Stück Kunststoff damit sägt, denn die rotierende Säge wird sich im Kunststoff verkanten und diesen durch die Luft schleudern. Die Wucht hierbei wäre ausreichend, um dir die Knochen zu brechen. Dieser Vorgang ist auch als »Rückschlag« bekannt und ist ein ernstzunehmenden Risiko, wenn man Kunststoff sägt.

Wenn man schon sehr viel Erfahrungen mit Tischsägen hat, ist man sogar noch viel anfälliger, weil die Reflexe und die Vorsichtsmaßnahmen, die man sich angewöhnt hat, nicht für die Arbeit mit Kunststoff gelten. Bitte nimm diese Warnung ernst!

Die erste und naheliegendste Vorsichtsmaßnahme ist folgende: Verwende ein Sägeblatt, das ausdrücklich für das Schneiden von Kunststoff geeignet ist. Solche Sägeblätter haben mehr starke Sägezähne, um die entstehende Hitze zu absorbieren. Wenn man ein ungeeignetes Sägeblatt verwendet, wird man sehen, dass sich klebrige Schlieren darauf ablagern. Es gibt dann nur eine Lösung: Säubere dieses Sägeblatt mit einem Lösungsmittel wie z.B. Aceton und benutze es nie wieder für ABS!

Natürlich sollte man generell immer bei der Verwendung einer Tischsäge Handschuhe und Augenschutz tragen und seitlich stehen, wenn man Materialien sägt. Persönlich muss ich sagen, dass ich nach einem erlebten »Rückschlag«, der mir fast den Arm gebrochen hat, die Tischsäge nicht mehr als Werkzeug der Wahl für das Schneiden von Kunststoff betrachte.

Wenn man lange, gerade Beschnitte vornehmen möchte, gäbe es folgende Alternativen:

- *Formatkreissäge (groß und teuer, aber sicher und genau)*
- *Kleine Handkreissägen mit etwa 10 cm Durchmesser und einer scharfen Kante, die man an die Platte klemmen kann*
- *Handsägen. Diese klassischen Sägen mag ich am liebsten. Meine Lieblingssäge ist eine aus Japan kommende Säge, die auf Zug sägt und die sehr saubere Beschnitte ermöglicht: Die »Vaughan Extra-Fine Cross-Cut Bear«-Säge mit etwa 24 cm Durchmesser und 17 ZpZ (Zähnen pro Zoll). Wenn man diese benutzt, muss man darauf achten, die freie Hand aus der Gefahrenzone zu halten, weil die Säge relativ leicht aus der Schnittkante rutscht. Diese Säge wurde eigens für harte Materialien wie z.B. Holz hergestellt und schneidet daher auch sehr leicht durch das weiche Fleisch deiner Gliedmaßen: Handschuhe werden unbedingt empfohlen!*

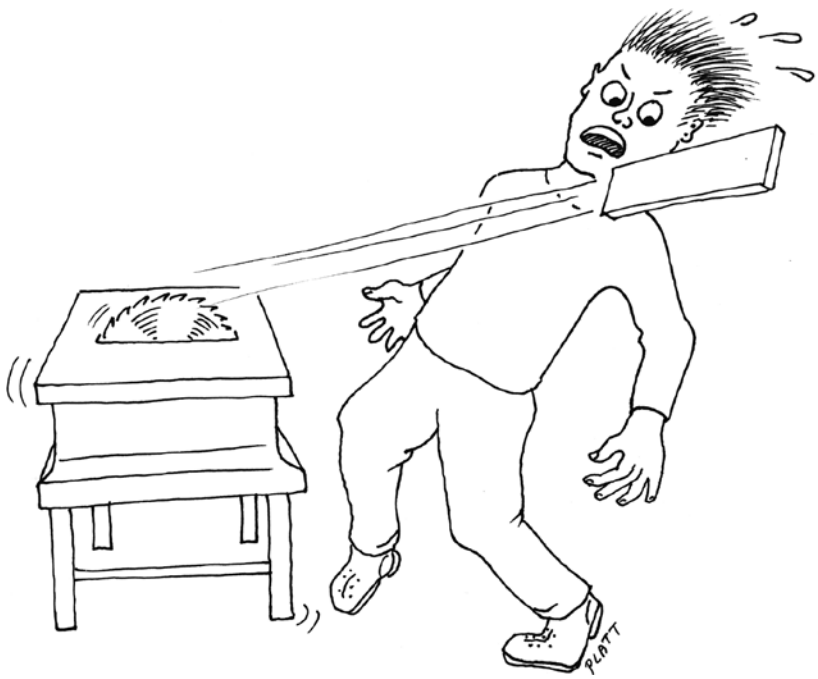


Abbildung 5-73. *Die Gefahren eines »Rückschlags«. Kunststoff bleibt sehr schnell am Sägeblatt einer Tischsäge kleben und kann unerwartet in deine Richtung fliegen. Bitte benutze daher andere Werkzeuge, um Kunststoff zu schneiden.*

Formen aussägen

Abbildung 5-74. *Eine Bandsäge ist das ideale Werkzeug, um komplexe Formen aus ABS-Kunststoff auszusägen. Man bekommt sie auch gebraucht für weniger als 150 Euro.*

Abbildung 5-75. *Eine Handkreissäge, die an einer geraden Schiene entlanggeführt wird, ist zum Schneiden von Kunststoff viel sicherer als eine Tischsäge und erzeugt dabei vergleichbare Ergebnisse.*

Es gibt keine großen Gefahren, wenn man Formen aussägen muss, aber Augenschutz und Handschuhe sind dennoch empfehlenswert. Hier meine bevorzugten Werkzeuge:

- Bandsäge mit einem 6,4-mm- oder 9,5-mm-Sägeblatt für dünnes Holz oder Sperrholz.
- Stichsäge. Ich benutze eine Stichsäge von DeWalt mit Sägeblättern von Bosch, die für Hartholz oder Kunststoff geeignet sind. Damit kann man komplexe Kurven in ABS so einfach sägen, wie man mit einer Schere Papier schneidet.

Egal, was für eine Art Säge du benutzt, du musst die rauen Sägekanten hinterher von Kunststoffresten befreien und dafür brauchst du unbedingt einen Entgrater, der von verschiedenen Herstellern angeboten wird. Eine Band- oder Kantenschleifmaschine ist ideal, um Ecken abzurunden und eine Metallfeile kann dazu benutzt werden, Unebenheiten an Kanten zu entfernen, die eigentlich gerade sein sollten.

In den Abbildungen 5-77 bis 5-80 sind verschiedene Sägewerkzeuge zu sehen. Abbildung 5-81 zeigt ein Entgratwerkzeug und Abbildung 5-82 eine Kantenschleifmaschine.

Abbildung 5-76. *Diese Japansäge sägt auf Zug und nicht auf Druck. Wenn man damit Übung hat, kann man sehr genaue Schnitte hinbekommen. Weil ABS so weich ist, wird nur minimale Muskelkraft benötigt.*

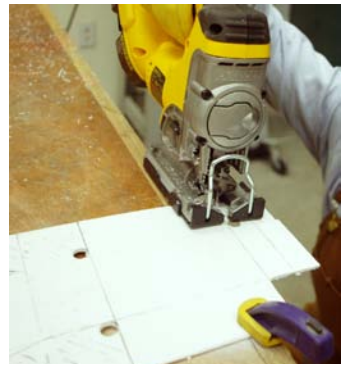


Abbildung 5-77. *Diese Stichsäge kann in einem sehr langsamen Modus betrieben werden. Dadurch kann man in Kunststoff sehr genau arbeiten.*

Abbildung 5-78. *Ein Entgratwerkzeug bereinigt und schrägt die Kanten von Kunststoff mit einigen schnellen Zügen ab.*

Abbildung 5-79. *Ein Band- oder Tellerschleifgerät ist bei der Arbeit mit ABS-Kunststoff das ideale Werkzeug, um Ecken abzurunden.*

Konstruktionspläne zeichnen

Ich zeichne meine Pläne gerne mit Zeichensoftware und versuche sie dann in Originalgröße auszudrucken. Ich befestige sie mit Klebeband an der glatten Seite einer Platte aus weißem oder grauen ABS und nehme dann eine Ahle, um durch den Plan in die weiche Oberfläche darunter zu stechen. Ich nehme dann das Papier weg und verbinde die Körnungen, indem ich auf dem Kunststoff mit einem Bleistift oder einem dünnen wasserlöslichen Marker zeichne. Die Linien lassen sich später mit einem feuchten Lappen wegwischen. Benutze keinen Permanentmarker, weil die Lösungsmittel zur Entfernung auch das Plastik auflösen könnten.

ABS neigt zum Reißen, wenn du es an einer Innenecke biegst, die nicht abgerundet ist. Daher musst du an diesen Stellen Löcher bohren, wie man in den Wagenplänen in Abbildung 5-89 auf Seite 270 sieht.

Ein normaler Bohrer mit 10 mm Durchmesser ist zu aggressiv. Er neigt dazu, sich innerhalb einer Umdrehung im Kunststoff zu verkanten. Benutze daher Forstnerbohrer (Abbildungen 5-83 und 5-84), um glatte, saubere Kreise auszusägen.

Beachte, dass durch Hitze beim Biegen Markierungen auf der Kunststoffoberfläche permanent werden können.

Abbildung 5-80. *Ein Forstnerbohrer erzeugt saubere, genaue Löcher. Ein normaler größerer Bohrer bleibt in ABS-Plastik hängen und richtet ein Chaos an.*

Biegen

Ein großer Vorteil von Kunststoff gegenüber Holz besteht darin, dass man damit aufwändige Formen durch Biegen erzeugen kann, anstatt einzelne Teile auszusägen und sie mit Nägeln, Schrauben oder Klebstoff zu verbinden. Leider braucht man zum Biegen eine passende Biegemaschine: Dabei handelt es sich um ein elektrisches Heizelement, das in ein langes, dünnes Metallgehäuse eingebaut ist, das man auf seine Werkbank stellen kann.

Vermeide Verbrennungen beim Biegen

Ein Kunststoffbieger kann schlimme Verbrennungen verursachen, wenn du versehentlich deine Hand darauf legst. Da er keine Warnleuchte besitzt, kannst du schnell vergessen, dass er eingesteckt ist. Benutze Handschuhe!

Um Kunststoff zu biegen, lege es für eine kurze Zeit (25 bis 30 Sekunden für 3-mm-ABS, 40 bis 45 Sekunden für 5 mm und bis zu einer Minute für 6 mm) auf das Heizelement eines Kunststoffbiegers. Wenn du den Kunstoff überhitzt, kannst du es riechen, und wenn du es umdrehst, wird es dann wie brauner, geschmolzener Käse aussehen. Natürlich solltest du lernen einzuschreiten, bevor der Kunststoff diesen Punkt erreicht.

ABS ist biegefertig, wenn es auf leichten Druck nachgibt. Nimm es vom Biegegerät und biege es von der Seite weg, die du erhitzt hast. Wenn du es zur heißen Seite hinbiegst, wird das aufgeweichte Material an der Kante hervortreten und das sieht nicht gut aus.

Abbildung 5-81. *Wenn du an jeder Stelle, an der sich zwei Biegungen kreuzen, ein Loch bohrst, verringerst du die Gefahr, dass der Kunststoff Risse bekommt.*

Abbildung 5-82. *ABS lässt sich sauber und exakt biegen, wenn man den Kunststoff auf einen Bieger legt, der aus einem elektrischen Heizelement besteht.*

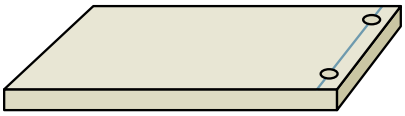


Abbildung 5-83

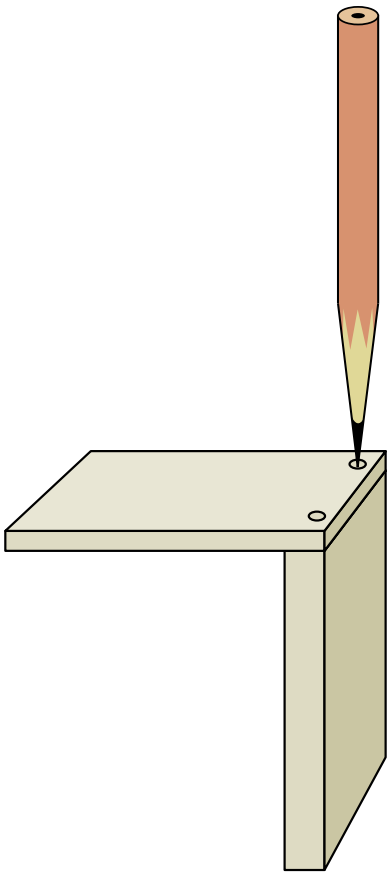


Abbildung 5-84

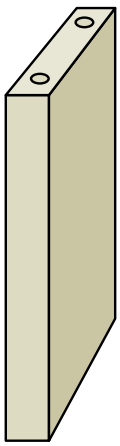


Abbildung 5-85

Du kannst damit ungefähr eine halbe Minute arbeiten. Wenn du es wie gewünscht gebogen hast, befeuchte es mit einer Wasserspritzpumpe oder einem Schwamm, damit es schneller wieder fest wird. Wenn du mehr Zeit brauchst, kannst du es auch noch einmal erhitzen. Die Kraft, die zum Biegen benötigt wird, nimmt mit der Länge der Kante zu, daher kann eine lange Biegekante Schwierigkeiten verursachen. Ich klemme das Teil in der Regel in einen losen Schraubstock, drücke es ein wenig, bewege es ein Stück weiter und drücke wieder.

Weil das Biegen von Kunststoff eine große Ähnlichkeit mit der Origami-Technik aufweist, solltest du deine Projekte erst als Papiermodelle bauen, bevor du dich dem ABS widmest.

Wenn du kein Geld für eine Biegemaschine ausgeben willst, solltest du Kunststoff trotzdem nicht gleich eine Absage erteilen: Du kannst mit Schrauben verschiedene Einzelteile einfacher und praktischer zusammenbauen, als es mit Holz möglich wäre.

Rechtwinklige Verbindungen herstellen

Wenn du Schrauben in die Kante eines Stücks Sperrholz eindrehst, lösen sich fast immer die einzelnen Schichten voneinander. ABS hat keine Schichten (und auch keine Maserung). Das bedeutet, dass du einfach zwei Teile in einem Winkel von 90° mit kleinen Schrauben (3,0 x 16 mm) verbinden kannst.

Die Abbildungen 5-83 bis 5-87 zeigen die Vorgehensweise, um 3 mm (oder dickeres) ABS mit 6 mm dickem ABS zu verbinden, was ich als die minimale Dicke ansehe, wenn du die Schrauben in die Kante eindrehst:

1. Ziehe eine Hilfslinie auf dem dünneren Stück Kunststoff, 3 mm von der Kante entfernt. Für 3-mm-Schrauben solltest du auch 3-mm-Löcher bohren. Wenn du Senkkopfschrauben benutzt, achte darauf, die Löcher sehr vorsichtig anzusenken.
2. Halte oder spanne die Werkteile fest und drücke mit einem Stift durch die Löcher, um die Kante des 6-mm-Kunststoffs darunter zu markieren.
3. Lege die dünne Kunststoffplatte zur Seite, spanne das 6-mm-Stück in einen Schraubstock und bohre die Löcher für die Schrauben vor, und zwar an jeder Markierung genau in der Mitte der Kante. Weil ABS sich nicht wie Holz zusammendrücken lässt, müssen die Löcher größer sein, als du vielleicht erwartest, ansonsten beult sich der Kunststoff um die Schraube herum. Für eine 3-mm-Schraube brauchst du ein Loch mit 2,5 mm.
4. Schraube die Teile zusammen. Achte darauf, die Schrauben nicht zu stark anzuziehen. Man kann sehr leicht das Gewinde zerreißen, das sie in den Kunststoff bohren.

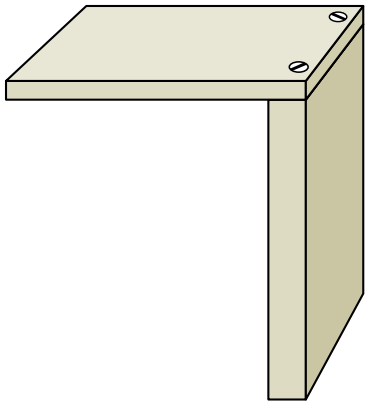


Abbildung 5-86. *Die Abbildungen 5-86 bis 5-89 zeigen die vier Schritte, in denen zwei Stücke ABS mit Blechschrauben verbunden werden. Bohre Löcher mit 3 mm Durchmesser auf einer Linie, die 3 mm von der Kante entfern ist. Dann markiere die Stellen durch die Löcher auf der Kante des zweiten Stücks. Bohre dort 2,5-mm-Löcher, die genau in der Mitte zentriert sind und schraube die Teile aneinander.*

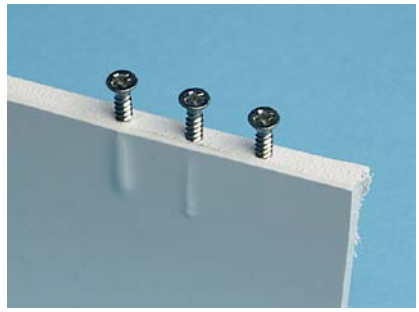


Abbildung 5-87. *Drei 3-mm-Schrauben, die in die Kante eines Stücks ABS gedreht wurden. Die Vorbohrungen haben einen Durchmesser von 1,5 mm, 2 mm und 2,5 mm. Weil die ersten zwei Löcher zu klein waren, hat sich der Kunststoff um die Schraube herum ausgebeult (ist aber nicht gerissen).*

Bau deinen Wagen zusammen

Aus Gründen, die bald klar werden, habe ich mich für eine ungewöhnliche rautenförmige Anordnung der Räder entschieden. In der 3D-Ansicht in Abbildung 5-88 ist das Vorderrad (oben) für den Antrieb zuständig, das Hinterrad (unten) steuert den Wagen beim Rückwärtsfahren und die Seitenräder sorgen dafür, dass er nicht umfällt.

Je nachdem, was du für einen Motor kaufst, musst du improvisieren, um ihn im vorderen Bereich des Wagens zu befestigen. Du solltest keine Hemmungen haben, den Motor mit Kabelbindern, Panzerband oder sogar Gummibändern am Chassis zu befestigen. Wir bauen hier einen groben Prototypen, keine Schönheit. (Aber wenn dir das Prinzip gefällt, kannst du den Wagen später immer noch schöner nachbauen.)

Der Plan in Abbildung 5-89 zeigt die Teile, die du brauchst. Teil A ist der Rumpf des Wagens. Wenn du das ABS biegen wirst, solltest du mit einem Forstnerbohrer 10-mm-Löcher an den vier Innenecken bohren, so dass diese Ecken abgerundet sind. Wenn du den Kunststoff einfach mit rechtwinkligen Ecken zurecht sägst, kann der Kunststoff beim Biegen an den Ecken reißen. Wenn du keinen Kunststoffbieger hast und auch keinen kaufen wirst, kannst du Teil A auch aus drei einzelnen Rechtecken bauen und dann zusammenschrauben.

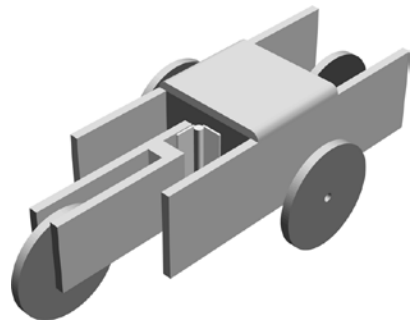


Abbildung 5-88. *Wenn du 3D-Grafiksoftware hast, kannst du damit sehr gut die Machbarkeit eines Bauprojekts ausprobieren, bevor du damit anfängst, das Material auszusägen und die Teile zusammenzusetzen. Diese Grafik war ein Konzeptnachweis für den kleinen Roboterwagen.*

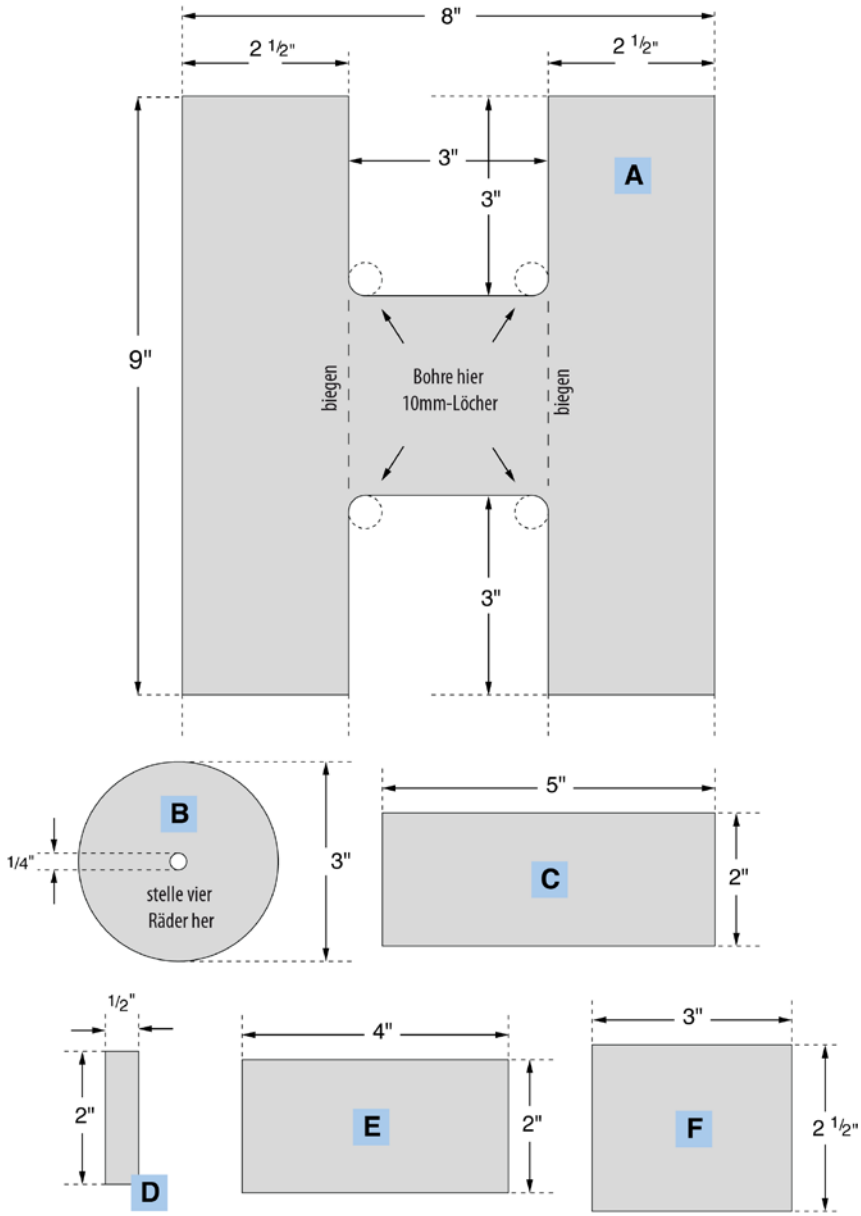


Abbildung 5-89. *Mit diesen Teilen aus 6 mm dickem Kunststoff kannst du den einfachen Wagen in Experiment 32 zusammen bauen.*

Abbildung 5-90. *Ein Rad mit 8 mm Durchmesser wird an die Scheibe geschraubt, die auf die Achse des Motors passt.*

Teil B ist ein Rad, von dem du vier Stück brauchen wirst. Ich habe sie mit einer Lochsäge mit 8 cm Durchmesser ausgesägt. Das Vorderrad wird an die Scheibe oder den Hebel geschraubt, der auf die Achse deines Motors passt. Siehe Abbildung 5-90.

Die Teile C, D und E werden zusammengebaut und bilden eine Gabel, an der das Hinterrad befestigt wird. Ich habe ein 5 cm langes Scharnier benutzt, um die Gabel drehbar zu befestigen. Das Scharnier wird an Teil F befestigt, das in

der Mitte des Rumpfs angebracht wird. Die Fotos in den Abbildungen 5-91 und 5-92 zeigen dies deutlicher. Wenn du Teil F einbaust, benutzte zunächst nur eine Schraube auf jeder Seite, so dass du den Winkel noch anpassen kannst. Das hilft dabei, den Bodenkontakt der Räder besser einzustellen.

Die Seitenräder und das Hinterrad müssen sich frei drehen können, dürfen aber nicht wackeln. Ich habe einfach die Muttern an den Schrauben, die als Achsen für die Räder dienen, so festgezogen, dass es noch einen Zwischenraum von einem halben Millimeter gab. Dann habe ich die Muttern mit einem Tropfen Klebstoff fixiert, damit sie sich nicht wieder lösen können.

Der Bauplan zeigt nicht genau, wo du die Löcher für die Achsenschrauben bohren sollst, weil die genauen Positionen von der Größe deiner Räder abhängen. Du kannst diese beim Zusammenbauen selbst herausfinden. Achte nur darauf, dass die seitlichen Räder nicht zu tief angebracht werden. Wir wollen nicht, dass sie das Vorder- oder Hinterrad vom Boden abheben. Wenn die Seitenräder ein klein wenig weiter vom Boden entfernt sind als das Vorder- und Hinterrad, ist es gut.

Bei einen Holzfußboden oder Kacheln, hat dein Wagen möglicherweise eine höhere Zugkraft, wenn du ein dickes Gummiband um die Räder spannst, die für Antrieb und Lenkung zuständig sind.

Der wichtigste Teil der Konstruktion besteht darin, Mikroschalter dort anzubringen, wo sie Impulse erhalten, wenn der Wagen irgendwo gegen fährt. Ich habe meine an den vorderen Ecken angebracht, wie in Abbildungen 5-93 und 5-94 zu sehen ist. Und damit kommen wir zur Elektronik.

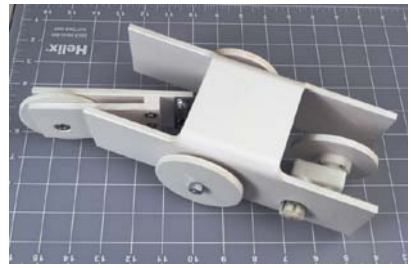


Abbildung 5-91. *Das fertige Chassis des Wagens vor dem Einbau der Steuerelektronik. Das rechts sichtbare Rad zieht den Wagen vorwärts (im Bild nach rechts). Das bewegliche Hinterrad ermöglicht dem Wagen, beim Vorwärtsfahren relativ genau geradeaus zu fahren, aber beim Rückwähtsfahren eine Kurve zu machen.*

Abbildung 5-92. *Eine Nahaufnahme des klappbaren Hinterrads, das sich frei drehen und mit minimaler Reibung von der einen Seite zur anderen klappen kann.*

Abbildung 5-93

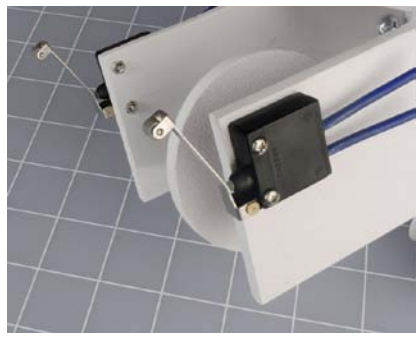


Abbildung 5-94. *Auf jeder Seite des Wagens ist ein Mikroschalter mit Metallhebel befestigt, der jedes Hindernis erkennen kann.*

Die Schaltung

Der Schaltplan ist sehr, sehr einfach und besteht aus nur vier Hauptbestandteilen: zwei Mikroschaltern, die Hindernisse vor dem Wagen erkennen, einem Relais und einem 555-Timer. Du brauchst auch noch einen kleinen Schalter, eine Batterie oder einen Batteriehalter und einen Widerstand und zwei Kondensatoren für den Timer. Ein Trimmpotentiometer erlaubt dir, die Dauer einzustellen, die der 555-Timer »an« ist. Diese bestimmt, wie lange der Wagen rückwärts fährt. Siehe Abbildung 5-95.

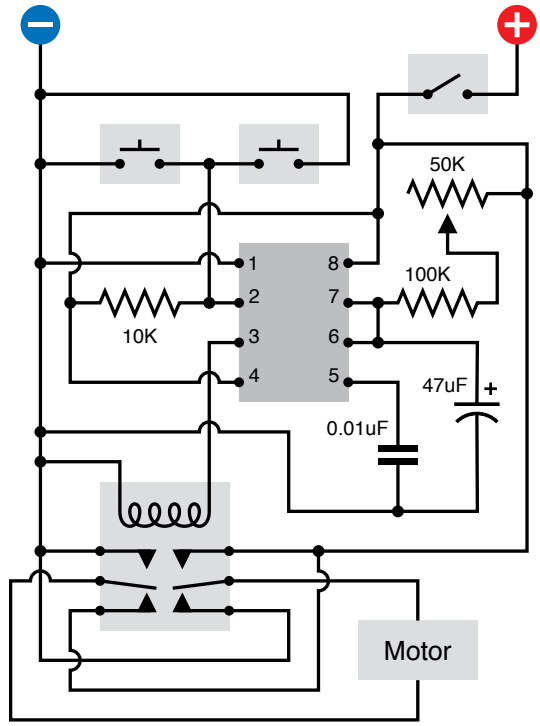


Abbildung 5-35. *Diese einfachste Schaltung reicht aus, damit der Wagen zurückfahren kann, wenn er auf ein Hindernis trifft.*

Der Motor, den ich ausgesucht habe, benötigt 5 Volt, also musste ich einen Spannungsregler mit einer 9-Volt-Batterie vewenden. Wenn ein Motor 6 Volt braucht, kannst du auch vier AA-Batterien direkt anschließen. Wenn du einen 12-Volt-Motor hast, kannst du zwei 9-Volt-Batterien in Reihe benutzen und die Spannung mit einem 12-Volt-Spannungsregler herabsetzen.

Setze die Bauteile zusammen, befestige sie auf dem Wagen und schalte diesen ein. Der Wagen sollte sich in einer mehr oder weniger geraden Linie vorwärts bewegen. Wenn er rückwärts fährt, vertausche die beiden Anschlusskabel des Motors.

Wenn der Wagen gegen ein Hindernis fährt, verbindet einer der Mikroschalter den Eingangspin des 555-Timers mit negativer Spannung. Dadurch wird der Timer ausgelöst, der im monostabilen Modus läuft. Er erzeugt einen einzelnen Impuls von etwa 5 Sekunden Dauer, der das Relais schließt, das so angeschlossen ist, dass es die Spannung zum Motor umkehrt.

Wenn die Spannung an einem einfachen Gleichstrommotor umgekehrt wird, dreht dieser sich in die andere Richtung. Der Wagen fährt also nach hinten. Weil das Hinterrad in einer beweglichen Gabel befestigt ist, wird die Gabel in die eine oder andere Richtung ausschlagen, so dass der Wagen beim Rückwärtsfahren eine Kurve einschlägt. Am Ende des Timerdurchgangs lässt das Relais los und der Wagen fährt wieder vorwärts. Im Vorwärtsgang folgt das Hinterrad einfach, ohne eine Lenkwirkung auszuüben, also fährt der Wagen einigermaßen geradeaus weiter, bis er das nächste Hindernis trifft und dann wieder zurückrollt und einen anderen Weg probiert.

GRUNDLAGEN

Alles über Endschalter

Die naheliegendste Verbesserung für den Wagen wäre ein besserer Lenkmechanismus. Du könntest dafür einen weiteren Motor nehmen oder ein Endschalterpaar. Weil Endschalter im Zusammenhang mit Motoren ein grundlegendes und wichtiges Konzept darstellen, erkläre ich sie hier genauer.

Abbildung 5-99 zeigt drei Ansichten eines Motors, an dem ein Hebel befestigt ist, der entweder einen unteren oder einen oberen Taster drücken kann. Beide Taster sind Ruhekontakte (Öffner), schließen den Kontakt also so lange, bis sie vom Hebel gedrückt werden. Diese Taster sind Endschalter. Für diese Anwendung benutzt man Mikroschalter, wie ich sie auch als Hindernissensoren für die Vorderseite des Wagens vorgeschlagen habe.

Außerdem gibt es noch ein zweipoliges Umschaltrelais, das durch einen einfachen Ein-/Ausschalter an der rechten Seite aktiviert wird. Beim Wagen nimmt der 555-Timer den Platz dieses Schalters ein, indem er das Relais mit Strom versorgt.

Stell dir eine Ausgangssituation vor, bei der der Motor mit dem Hebel nach unten zeigt, wie es in der obersten Ansicht in Abbildung 5-99 zu sehen ist, und dass der Motor so angeschlossen ist, dass er sich gegen den Uhrzeigersinn dreht, wenn er am unteren Anschluss negative Spannung und am oberen Anschluss positive Spannung erhält. Das geschieht dann, wenn der Ein-/Ausschalter geschlossen wird und Strom an das Relais leitet. Positive Spannung von den Relaiskontakten kann nicht durch die obere Diode fließen, aber durch den unteren Endschalter, der geschlossen ist. Negative Spannung kann nicht durch den unteren Endschalter fließen, weil er geöffnet ist, aber durch die untere Diode. Also beginnt der Motor, sich gegen den Uhrzeigersinn zu drehen. In der Mittelstellung seines Weges erhält er durch beide Endschalter Strom.

Am Ende erreicht der Motorhebel den oben Taster und öffnet ihn. Dadurch wird verhindert, dass positive Spannung den Motor durch diesen Schalter erreicht. Die positive Spannung wird außerdem von der oberen Diode blockiert. Also hält der Motor hier an.

Gehen wir jetzt davon aus, dass der Ein-/Ausschalter geöffnet wird, wie in der obersten Darstellung von Abbildung 5-100. Das Relais verliert seinen Haltestrom und die Kontakte entspannen sich. Die Spannung an den Motor ist jetzt umgedreht.

Negative Spannung fließt durch die obere Diode und positive Spannung erreicht den Motor durch den unteren Endschalter. Der Motor beginnt, sich gegen den Uhrzeigersinn zu drehen, bis sein Hebel den unteren Endschalter erreicht, diesen öffnet und damit den Strom zum Motor unterbricht.

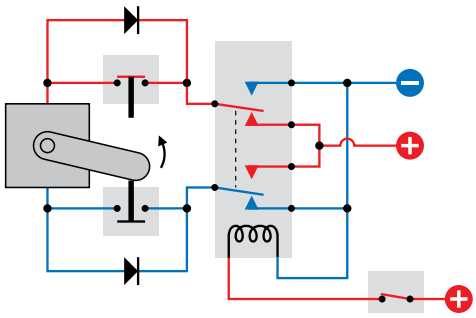
Entschalter sind wichtig, weil ein einfacher Gleichstrommotor mehr Strom aufnimmt, heiß wird und durchbrennen kann, wenn man weiter Spannung anlegt, obwohl der Motor blockiert ist.

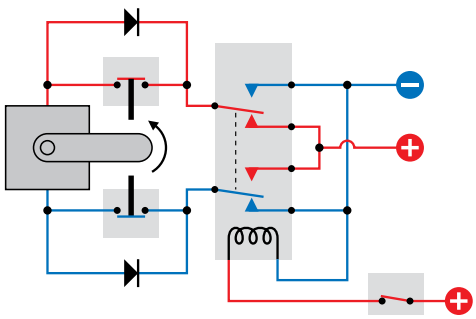
Du kannst leicht erkennen, wie ein derartiges System zur Lenkung des Wagens benutzt werden kann. Auch wenn der Motor nur zwei Stellungen hat, reichen diese aus, damit der Wagen beim Rückwärtsfahren lenken und dann geradeaus weiterfahren kann.

GRUNDLAGEN

Alles über Endschalter (Fortsetzung)

Um Strom zu sparen, könnte das Relais durch ein Haftrelais mit zwei Spulen ersetzt werden. Die Schaltung müsste dann angepasst werden, damit das Relais durch Impulse an beide Spulen hin- und hergeschaltet werden kann.





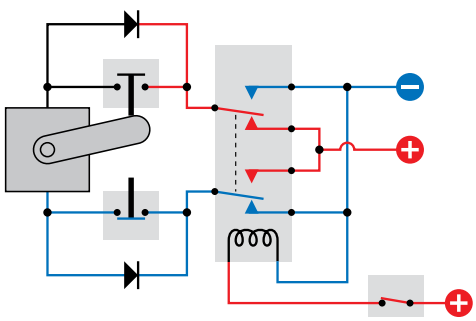
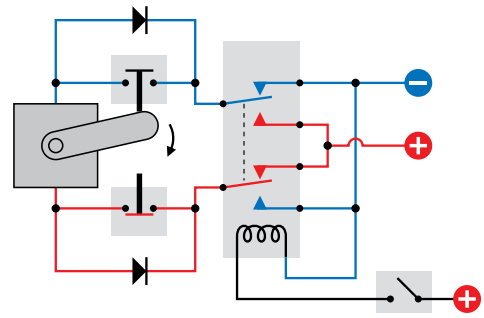
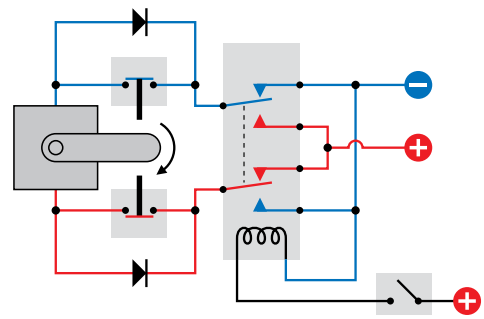


Abbildung 5-96. *Die drei Abbildungen zeigen von oben nach unten drei Momentaufnahmen eines Motors, der von einem Umschaltrelais und zwei Endschaltern gesteuert wird. Wenn der Ein-/Ausschalter unten rechts das Relais erregt, sorgen die unteren Relaiskontakte dafür, dass der Motor sich gegen den Uhrzeigersinn dreht, bis er sich selbst anhält, wenn sein Hebel den oberen Endschalter öffnet.*





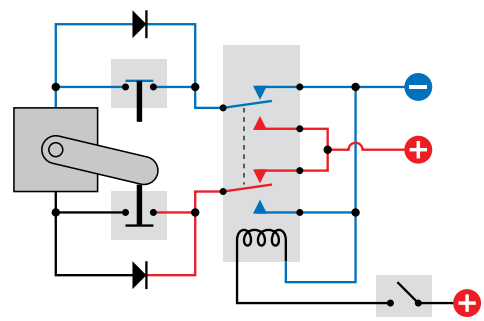


Abbildung 5-97. *Wenn der Ein-/Ausschalter unten rechts geöffnet wird, verbindet das Relais seine oberen Kontakte. Dadurch dreht der Motor sich im Uhrzeigersinn, bis sein Hebel den unteren Endschalter öffnet. Endschalter verhindern Überhitzung und mögliche Schäden, die auftreten können, wenn ein Motor mit Strom versorgt wird, während seine Drehung blockiert wird.*

GRUNDLAGEN

Alles über Elektromotoren

Gleichstrommotor (Bürstenmotor)

Dies ist der einfachste und älteste Aufbau eines Elektromotors, in Abbildung 5-101 in stark vereinfachter Form dargestellt. An einer Achse werden Spulen befestigt, die mit feststehenden Magneten in Wechselwirkung treten. Die magnetische Anziehung dreht die Achse ein Stückchen, wodurch die nächste Spule auf der Achse eingeschaltet wird, um die Achse noch ein Stück zu drehen, dann die nächste Spule und so weiter. Damit das klappt, wird der Strom über »Bürsten« an die Spulen geleitet, die oft aus Graphit bestehen und den Strom an eine Nabe leiten, die oft als Kommutator bezeichnet wird und in Abschnitte eingeteilt ist, von denen jeder mit einer anderen Spule verbunden ist.

Wenn wir ein kleines motorisiertes Gerät bauen wollen, z.B. einen kleinen Roboter oder ein Modellflugzeug, bietet dies Grundkonzept mehrere Vorteile:

- weite Verbreitung
- günstiger Preis
- Einfachheit
- Zuverlässigkeit
- Möglichkeit, sich in die Gegenrichtung zu drehen, wenn die Spannung umgepolt wird

Außerdem werden Bürstenmotoren oft mit einem eingebauten Untersetzungsgetriebe verkauft. Diese Module nennt man Getriebemotoren. Du musst dann kein eigenes Getriebe und auch keine Riemen benutzen, um die Geschwindigkeit selbst einzustellen, sondern kaufst einfach den Motor, der deinen Anforderungen entspricht.

Gleichstrom-Schrittmotor

Für diesen Motortyp benötigt man einen Controller, der einige elektronische Bauteile enthält, die den Motor dazu bringen, in kleinen, diskreten Schritten zu rotieren. Die Vorteile eines Schrittmotors sind folgende:

- genaue Einstellung der Achse
- genaue Einstellung der Geschwindigkeit

Schrittmotoren sind ideal für Geräte wie Drucker, bei denen das Papier eine exakte Distanz weit eingezogen werden muss und der Druckkopf eine ebenso exakte Distanz seitlich zurücklegen muss, aber sie eignen sich auch für Roboter. Wenn der Motor so klein ist, dass er weniger als 200 mA aufnimmt und mit 12 Volt oder weniger läuft, kannst du ihn mit Impulsen eines 555-Timers ansteuern. Ich beschreibe Schrittmotoren noch genauer im Experiment 33.

Servos

Ein Servo wird in der Regel zusammen mit einem programmierbaren Mikrocontroller benutzt, der Anweisungen schickt, die Achse des Motors auf eine bestimmte Position zu stellen und dort zu halten. Ich werde Servos erwähnen, wenn ich dir Mikrocontroller vorstelle, aber wir werden uns nicht im Detail mit ihnen beschäftigen.

Es gibt noch andere Arten von Motoren, u.a. bürstenlose Gleichstrommotoren (die einen anderen Controller benötigen und in Diskettenlaufwerken und CD-Playern eingesetzt werden) und Wechselstrommotoren (darunter auch Synchronmotoren, die ihre Rotation mit der Frequenz der Wechselspannung synchronisierten und die oft in Uhren eingesetzt wurden, vor deren Digitalisierung).

In diesem Buch befassen wir uns hauptsächlich mit Bürstenmotoren und Schrittmotoren, die beide mit Gleichstrom betrieben werden.

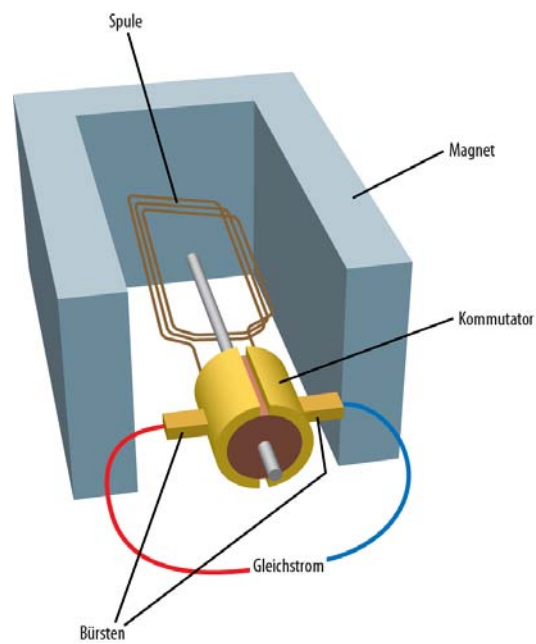


Abbildung 5-98. *Das Grundprinzip eines einfachen Gleichstrommotors. Der Kommutator leitet Strom durch eine Spule, die ein Magnetfeld erzeugt, das mit einem Magneten um den Motor interagiert. Die Spule dreht sich und der Kommutator dreht sich mit, bis das elektrische Feld durch die Spule umgekehrt wird. Dadurch wiederholt sich der Vorgang. In Wirklichkeit hat ein Motor einen Kommutator mit mehreren Bereichen, die mit mehreren Spulen verbunden sind. Das Prinzip bleibt aber gleich.*

Was du bei diesem Experiment lernen konntest:

- Du kannst einfache Gleichstrommotoren mit Untersetzungsgetrieben kaufen, die so viel Umdrehungen pro Minute leisten, wie du brauchst. Es gibt viele Webseiten, auf denen du kleine Motoren für Robotikprojekte kaufen kannst.
- Wenn du die Spannung an einem Gleichstrommotor umpolst, läuft der Motor rückwärts.
- Ein zweipoliges Umschaltrelais kann so beschaltet werden, dass es beim Schließen seiner Kontakte die Stromversorgung des Motors umpolt.
- Du kannst mit zwei Endschaltern und einem Diodenpaar einen Motor in zwei Positionen anhalten. In jeder der Halteposition verbraucht der Motor keinen Strom und es besteht keine Gefahr, dass er durchbrennt.

Welche anderen Projekte kannst du dir mit diesen Methoden ausdenken?

Hebelkraft

Die internationale Einheit für die Drehkraft bzw. den Drehmoment eines Motors ist Newtonmeter. (In den USA wird sie meist noch in »pound-force feet« oder »ounce-force inches« angegeben.)

Die Einheit Newtonmeter ist einfach zu erläutern. Stell dir einen Hebel vor, dessen Gelenk drehbar ist, wie in Abbildung 5-99 dargestellt. Wenn der Hebel einen Meter lang ist und am Ende ein Gewicht hängt, dass ihn mit einer Kraft von einem Newton nach unten zieht, beträgt das Drehmoment ein Newtonmeter. (Das Gewicht müsste also bei mittlerer Erdbeschleunigung eine Masse von ca. 102 Gramm haben.)

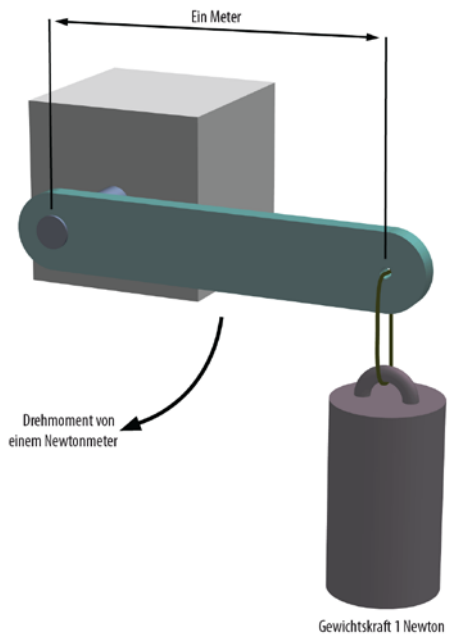


Abbildung 5-99. *Die Drehkraft eines Motors wird als »Drehmoment« bezeichnet und wird in Nanometern angegeben. (In den USA wird stattdessen »pound-feet« oder, bei kleinen Motoren, »ounce-inches« benutzt.) Beachte, dass das Drehmoment des Motors von der Geschwindigkeit abhängt, mit der er sich dreht.*

THEORIE

Berechnung des Spannungsabfalls

Bei vielen Gelegenheiten musst du wissen, wie hoch der Spannungsabfall ist, den eine bestimmte Drahtlänge in eine Schaltung einbringt. Wenn du die maximale Leistung eines Motors erhalten willst, möchtest du verhindern, dass zu viel Spannung in den Drähten verloren geht, die zum Motor und zurück führen.

Die Berechnung des Spannungsabfalls ist nicht ganz einfach, weil er nicht nur vom Draht abhängt, sondern auch davon, wie viel Leistung die Schaltung aufnimmt. Gehen wir von einem Draht mit 0,6 mm Durchschnitt und einer Länge von 30 Metern aus, der einen Widerstand von etwa 1,5 Ohm hat. Wenn du eine 12-Volt-Batterie anschließt und eine LED und einen Vorwiderstand damit ergeben, die insgesamt einen Effektivwiderstand von etwa 1200 Ohm ergeben, ist der Widerstand des Drahts im Verhältnis vernachlässigbar. Das Ohmsche Gesetz besagt Folgendes:

Stromstärke = Spannung/Widerstand

Das bedeutet, dass die Stromstärke im Stromkreis nur etwa 10 mA beträgt.

Noch einmal das Ohmsche Gesetz:

Spannung = Widerstand × Stromstärke

Also verursacht der Draht mit dem Widerstand von 1,5 Ohm einen Spannungsabfall von 1,5 × 0,101 = 0,015 Volt.

Gehen wir jetzt von einem Motor aus. Die Spulen im Motor erzeugen Impedanz anstelle von Widerstand, aber wenn wir messen, wie viel Strom durch den Stromkreis fließt, können wir den Effektivwiderstand berechnen. Gehen wir davon aus, dass der Strom 1 Ampere beträgt. Wiederholen wir die zweite Berechnung:

Spannung = Widerstand × Stromstärke

Der Spannungsabfall im Draht ist jetzt 1,5 × 1 = 1,5 Volt! Dies wird in Abbildung 5-100 verdeutlicht.

Wenn wir das bedenken, können wir uns die Tabelle ansehen, die ich vorbereitet habe. Ich habe die Zahlen auf zwei Nachkommastellen gerundet, weil durch die Abweichungen in dem Draht, den du verwendest, eine höhere Genauigkeit absolut unrealistisch wäre.

Um diese Tabelle zu benutzen, musst du wissen, wie hoch der Strom ist, der durch deine Schaltung fließt. Du kannst ihn berechnen (indem du alle Widerstände addierst und durch die Spannung teilst, die anliegt) oder du kannst ihn auch einfach mit dem Multimeter messen. Achte nur darauf, dass deine Einheiten konsistent sind (alle in Ohm, Ampere und Volt oder Milliohm, Milliampere, Millivolt).

In dieser Tabelle bin ich willkürlich von einer zufälligen Kabellänge von 5 Metern ausgegangen. Du musst natürlich darauf achten, wie lang das Kabel in deiner Schaltung wirklich ist. Je kürzer der Draht, desto geringer ist der Verlust. Eine Schaltung mit nur 2,5 Metern Draht und derselben Stromstärke und Spannung erfährt auch nur die Hälfte des Verlustes, der in der Tabelle aufgeführt ist. Eine Schaltung mit 7,5 Metern und derselben Stromstärke und Spannung erfährt das 1,5-fache des Verlustes.

Um die Tabelle zu nutzen, musst du also Folgendes tun:

1. Teile die Länge deines Drahtes durch 5.
2. Multipliziere das Ergebnis mit der Zahl in der Tabelle.

Bei der Tabelle wird auch willkürlich vorausgesetzt, dass du eine Spannungsquelle mit 12 Volt einsetzt. Du musst also umrechnen, wenn du eine andere Spannung einsetzt. Um die Tabelle zu nutzen, musst du also Folgendes tun:

1. Teile 12 durch die tatsächliche Spannung deiner Quelle.
2. Multipliziere das Ergebnis mit der Zahl in der Tabelle.

Ich kann also beide Vorgänge wie folgt zusammenfassen:

Spannungsabfall in Prozent = P × (12 / U) × (L / 5)

Dabei ist P die Zahl aus der Tabelle, U die Versorgungsspannung und L die Länge des Drahtes.

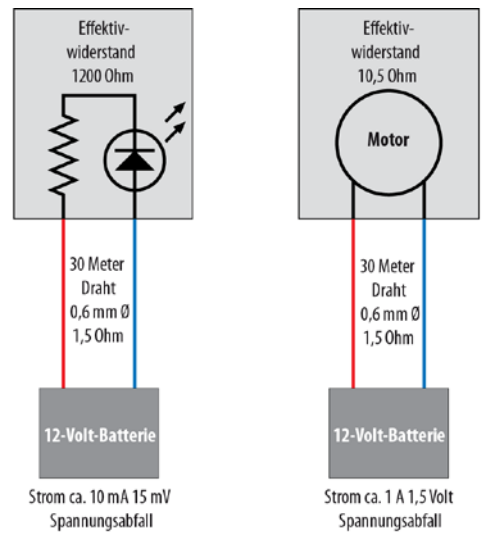


Abbildung 5-100. *Der Spannungsabfall, den der Draht verursacht, hängt vom Strom und dem Widerstand in der Schaltung ab. Der Abfall ist am größten, wenn der Widerstand der Schaltung niedrig und die Stromstärke hoch ist.*

THEORIE

Berechnung des Spannungsabfalls (Fortsetzung)

Diese Tabelle zeigt den Spannungsabfall in Prozent in einer Schaltung mit einem 5 Meter langen Draht bei 12 Volt.

Draht-durch-messer	Ampere									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	0,08	0,17	0,25	0,33	0,42	0,50	0,58	0,67	0,75	0,83
12	0,13	0,27	0,40	0,53	0,66	0,80	0,93	1,1	1,2	1,3
14	0,21	0,42	0,63	0,84	1,1	1,3	1,4	1,5	1,9	2,1
16	0,33	0,67	1,0	1,3	1,7	2,0	2,3	2,7	3,0	3,4
18	0,53	1,1	1,6	2,1	2,7	3,2	3,7	4,3	4,8	5,3
20	0,85	1,7	2,6	3,4	4,3	5,1	6,0	6,8	7,7	8,5
22	1,3	2,7	4,0	5,4	6,7	8,1	9,4	11	12	13
24	2,1	4,3	6,4	8,6	11	13	15	17	19	21
26	3,4	6,8	10	14	17	20	24	27	31	34
28	5,4	11	16	22	27	32	38	43	49	54
30	8,6	17	26	34	43	52	60	69	77	86

Beachte aber, dass der Widerstand des Drahts höher sein wird, wenn du Litze oder verzinnten Kupferdraht benutzt. Dadurch geht mehr Spannung verloren.

Experiment 33: Fortbewegung schrittweise

Jetzt sind wir soweit, dass wir etwas Anspruchsvolleres bauen können: Einen Wagen, der sich selbst nach einer Lichtquelle ausrichtet. Ich werde dir alles nennen, was du brauchst, um dieses Projekt durchzuführen, aber dieses Mal werde ich es nicht in allen ausführlichen Details bis zum Ende planen. Ich will, dass du lernst, die Details selbst herauszufinden und Pläne zu verbessern, und dass du am Ende selbst Dinge erfinden kannst.

Das brauchst du:

- 555-Timer. Anzahl: 8.
- Trimmpotentiometer mit 2 kΩ, linear. Anzahl: 2.
- LEDs. Anzahl: 4. Wenn du keine Lust mehr hast, die LEDs in einer 12-Volt-Schaltung immer mit Vorwiderständen versehen zu müssen, kannst du auch LEDs kaufen, die gleich den passenden Widerstand für 12 Volt eingebaut haben. Im Schaltplan in Abbildung 5-104 wird aber davon ausgegangen, dass du normale LEDs mit 2 oder 2,5 Volt einsetzt.
- Schrittmotor: Unipolar, vierphasig, 12-Volt. Parallax 27964 oder ähnlich, Maximale Stromaufnahme 100 mA. Anzahl: 2
- Fotowiderstäne, idealerweise im Bereich von 500 bis 3000 Ω. Anzahl: 2

- Darlington-Arrays ULN2001A oder ULN2003A von STMicroelectronics. Anzahl: 2.
- CMOS-Oktal- oder Dekadenzähler. Anzahl: 2.
- Diverse Widerstände und Kondensatoren.

Erforsche deinen Motor

Ich habe einen unipolaren, vierphasigen 12-Volt-Motor angegeben, weil das ein sehr oft verwendeter Motortyp ist. Ein passendes Beispiel ist in Abbildung 5-101 zu sehen. Wenn du einen solchen Motor nicht direkt finden kannst, kannst du auch jeden anderen nehmen, auf den die Beschreibung in diesem Buch zutrifft. »Unipolar« bedeutet, dass du die Stromversorgung nicht von positiv zu negativ und wieder zu positiv schalten musst, um den Motor zu betreiben. Vierphasig bedeutet, dass die Impulse, die den Motor antreiben, nacheinander über vier einzelne Drähte abgegeben werden müssen. Weil du deinen Motor direkt mit 555-Timern antreiben wirst, sollte der Stromverbrauch so niedrig wie möglich sein.

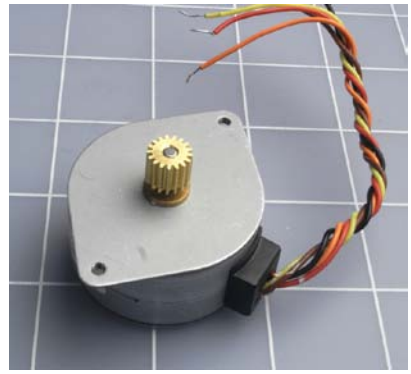


Abbildung 5-101. *Ein herkömmlicher Schrittmotor. Die Achse rotiert in Schritten, wenn negative Impulse nacheinander an die vier Drähte gelegt werden. Der fünfte Draht ist der gemeinsame positive Anschluss.*

Zuerst können wir aber auch den Motor ganz ohne andere Bauteile mit Spannung versorgen. Sehr wahrscheinlich sind am Motor schon fünf Drähte angeschlossen, die offen enden und so direkt in die Löcher eines Steckbretts eingesteckt werden können, wie in Abbildung 5-102 zu sehen. Schau im Datenblatt deines Motors nach: Dort sollte ersichtlich sein, dass vier der Drähte dazu dienen, den Motor anzutreiben und der fünfte Draht die gemeinsame Verbindung darstellt. In vielen Fällen muss die gemeinsame Verbindung an den Pluspol deiner Stromquelle angeschlossen werden. An den anderen Drähten wird dann Schritt für Schritt eine Folge von negativen Spannungen angelegt.

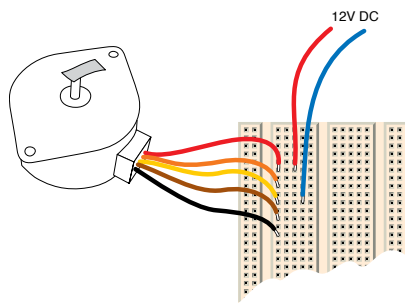


Abbildung 5-102. *Einen Schrittmotor kann man ganz leicht testen, indem man manuell eine Spannung an jeden der vier Steueranschlüsse anlegt. Mit einem Stückchen Klebeband an der Achse kann man leichter sehen, wie der Motor reagiert.*

Das Datenblatt gibt auch Aufschluss darüber, in welcher Abfolge die Drähte mit Strom versorgt werden müssen. Du kannst es aber auch durch Ausprobieren herausfinden, falls nötig. Eine Sache kannst du dir merken: Ein Schrittmotor ist sehr tolerant. Solange du die richtige Spannung anlegst, kannst du ihn nicht durchbrennen.

Damit du genau sehen kannst, was der Motor macht, befestige ein Stück Klebeband am Ende der Achse. Dann lege die Spannung an die Drähte an, immer nur an einen von ihnen, indem du mit dem Minuspol einen Anschluss nach dem anderen berührst. Die Achse sollte sich in kleinen Schritten drehen.

Der Motor enthält Spulen und Magnete, aber sie funktionieren anders als bei einem Gleichstrommotor. Du kannst dir den Aufbau so ähnlich wie in Abbildung 5-103 vorstellen. Jedes Mal, wenn du die Spannung an eine andere Spule anlegst, dreht sich das schwarze Viertel der Achse zur Spule hin. In Wirklichkeit dreht sich der Motor natürlich um weniger als 90° von einer Spule zur nächsten, aber dieses vereinfachte Modell eignet sich gut, um zu verstehen, was vor sich geht. Eine genauere Erklärung findest du im folgenden Abschnitt »Theorie: Ein Blick in den Schrittmotor«.

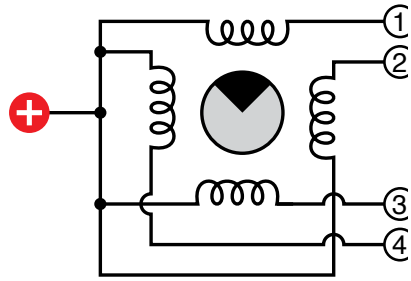


Abbildung 5-103. *Diese stark vereinfachte Zeichnung hilft dir zu verstehen, wie ein Schrittmotor funktioniert. In Wirklichkeit rotieren fast alle Motoren bei jedem Impuls weniger als 90°.*

Du solltest beachten, dass der Motor ständig Strom aufnimmt, wenn einer der Drähte verbunden ist, auch wenn er gar nichts tut. Wenn du die Spannung an einem anderen Draht anlegst, springt er in die betreffende Position und macht dann wieder nichts.

Die Spule im Motor hält die Achse in Position und der Strom, den der Motor aufnimmt, wird als Wärme abgegeben. Es ist ganz normal, dass der Motor beim Gebrauch warm wird. Das Problem dabei ist folgendes: Wenn du den Motor mit einer Batterie antreibst und vergisst, sie abzustecken, ist die Batterie ziemlich schnell leer.

Eine schnelle Demonstration

Du hast jetzt festgestellt, dass der Motor funktioniert. Aber wie kann man ihn tatsächlich antreiben. Du musst nacheinander einen Impuls an alle vier Drähte senden, in einer sich schnell wiederholenden Abfolge. Wenn du die Geschwindigkeit der Impulse einstellen könntest, wäre es noch besser. Ich glaube, dass du diese Herausforderung für eine schnelle und einfache Vorführung leicht mit vier 555-Timern im monostabilen Modus bewältigen kannst. Jeder Timer löst nacheinander den nächsten Timer aus.

Der Schaltplan in Abbildung 5-104 zeigt, was ich mir vorstelle. Es sieht viel komplexer aus, als es wirklich ist. Jeder Timer ist von gleich angeordneten Bauteilen umgeben. Sobald du also das erste Modul gebaut hast, machst du einfach noch drei Kopien davon.

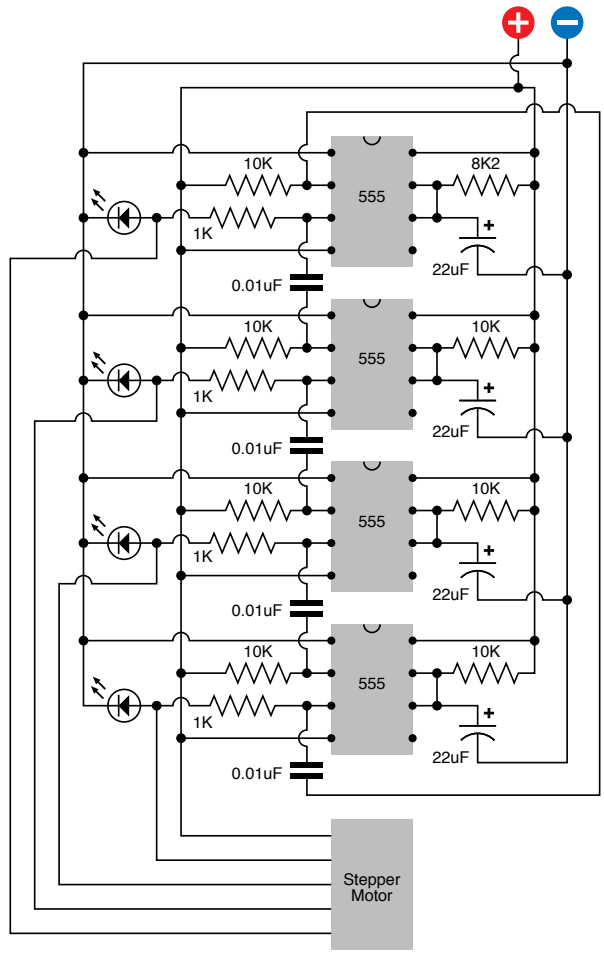


Abbildung 5-104. *Eine sehr schnelle und einfache Schaltung, um einen Schrittmotor zu steuern, bestehend aus vier 555-Timern, die alle im monostabilen Modus laufen und sich gegenseitig aufeinander folgend auslösen.*

Ich habe 10-kΩ-Widerstände als Pull-ups am Eingang jedes 555 eingesetzt, so dass die Timer im Ausgangszustand still sind. Ein Kondensator mit 0,01 µF verbindet den Ausgang eines Timers mit dem Eingang des nächsten. So sind sie elektrisch voneinander isoliert und der Kondensator leitet nur dann eine Spannungsspitze weiter, wenn ein Timer seinen eingeschalteten Zustand beendet und der Ausgang auf den Low-Pegel fällt, wodurch der nächste ausgelöst wird.

Auf der rechten Seite habe ich 10-kΩ-Widerstände und 22-µF-Kondensatoren benutzt, um eine Frequenz von ungefähr einer Viertelsekunde zu erzeugen. Der oberste Timer ist eine Ausnahme, weil er einen Taktwiderstand von 8,2 kΩ hat. Der Grund dafür ist der, dass beim ersten Einschalten alle Timer darauf warten, dass einer der anderen anfängt bzw. auch Timer 2 und 4 oder 1 und 3 gleichzeitig anfangen könnten. Indem ich einem Timer einen kürzeren Takt als den anderen gebe, minimiere ich dieses Problem.

Die LEDs sind dafür da, um dir eine optische Bestätigung für die Vorgänge zu geben. Ohne die LEDs könnte sich beispielweise dein Motor bei einem Anschlussfehler immer nur hin und her drehen, ohne dass du weißt, warum. Du kannst deine Schaltung auch zuerst nur mit den LEDs betreiben, um sicherzugehen, dass sie funktioniert. Abbildung 5-105 zeigt die Schaltung auf dem Steckbrett, bevor der Motor eingesteckt wurde. Du kannst dann die Verbindungen der Anschlussdrähte mit den Ausgängen (Pin 3) der Timer auf dem Steckbrett herstellen. Siehe Abbildung 5-106.

Wenn du den Strom einschaltest, sollte der Motor sich schrittweise weiterdrehen, währen die LEDs nacheinander aufblinken. Wenn die LED-Abfolge nicht stabil ist, versuche Folgendes:

1. Halte den Eingang (Pin 2) des obersten Timers über einen Draht direkt an den Pluspol der Spannungsquelle und warte, bis die Timer alle ruhig sind.
2. Starte die Sequenz neu, indem du das freie Ende dieses Drahts vom Pluspol entfernst oder (falls nötig) es kurz an den Minuspol hältst, um den ersten Timer anzustoßen.

Wenn du genau hingeschaut hast, ist dir vielleicht aufgefallen, dass der gemeinsame Anschluss des Motors mit dem Pluspol verbunden ist. Das bedeutet auch, dass jedes Mal, wenn ein Timer seinen positiven Impuls abgibt, dieses positive Signal nicht den Motor antreibt. Aber die drei Timer, die in diesem Moment nicht aktiv sind, fungieren mit ihrem Low-Ausgangspegel als Stromsenke für den Motor. Dieser scheint damit gut zurecht zu kommen. Um dies zu verstehen, brauchst du etwas Theoriewissen.

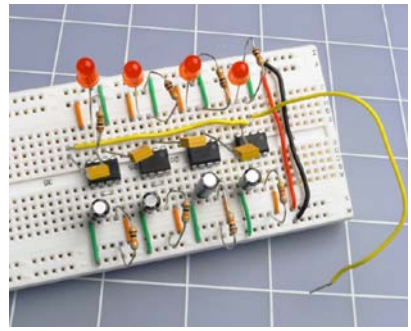


Abbildung 5-105. *Um Fehler in der Steuerschaltung erkennen zu können, zeigen vier LEDs die Ausgangsimpulse der vier 555-Timer. Der lose gelbe Draht an der rechten Seite wird mit Pin 2 des ersten Timers verbunden. Mit dem freien Drahtende berührt man den Pluspol der Stromquelle, um die Timer zurückzusetzen und dann, falls nötig, mit einer kurzen Berührung des Minuspols die Sequenz neu zu starten.*

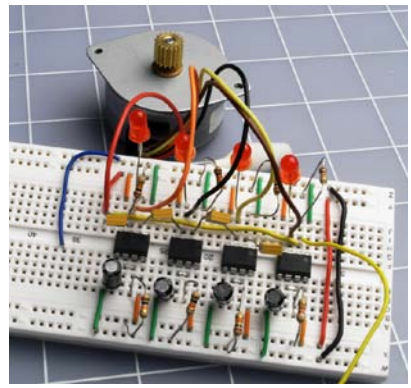


Abbildung 5-106. *Nachdem die Schaltung getestet wurde, kann der Motor angeschlossen werden. Dazu verbindet man seine Steuerleitungen mit den Ausgängen der vier 555-Timer.*

THEORIE

Ein Blick in den Schrittmotor

Wenn du den Wikipedia-Artikel über Schrittmotoren aufrufst, siehst du eine hübsche 3D-Animation mit einem gezahnten Rotor und vier Spulen, die um diesen herum angeordnet sind. Vielleicht wurden Schrittmotoren einmal so hergestellt, heute aber nicht mehr.

Stelle dir zwei horizontale Reihen von Spulen vor. In der Lücke zwischen ihnen befindet sich eine Reihe von kleinen Magneten, wie ein Güterzug, der sich nach links oder rechts bewegen kann, wie in Abbildung 5-107 und 5-108 dargestellt. Jede Spule hat zwei Windungen, die in umgekehrter Richtung gewickelt sind, so dass ein Strom durch die eine Windung eine aufwärts gerichtete Magnetkraft erzeugt und ein Strom durch die andere Windung eine abwärts gerichtete Magnetkraft erzeugt. Die »Zeilen« der Windungen sind parallel miteinander verbunden, so dass sie gleichzeitig ein- und ausgeschaltet werden.

In Schritt 1 schaltet die negative Verbindung die oberen Windungen der oberen Spulen ein, die nun eine aufwärts gerichtete Magnetkraft erzeugen. Ich habe diese Kraft mit blaugrünen Pfeilen eingezeichnet, damit du sie nicht mit einem Stromfluss verwechselst. Diese Kraft zieht die Nordpole der Magneten an und stößt die Südpole ab. Wenn die Magnete sich also in der bei Schritt 1 gezeigten Position befinden, wollen sie sich einen Schritt nach rechts bewegen.

Damit kommen sie an die Position, die du in Schritt 2 siehst. Jetzt werden die oberen Windungen der unteren Spulen eingeschaltet, was erneut eine aufwärts gerichtete Kraft erzeugt, die wieder die Nordpole anzieht und die Südpole abstößt.

Das bringt die Magneten in die in Schritt 3 gezeigte Stellung. Jetzt werden die unteren Windungen der unteren Spulen aktiviert und erzeugen eine abwärts gerichtete Kraft. Diese stößt die Nordpole ab und zieht die Südpole an. Also bewegen sich die Magnete weiter.

Sie erreichten die Position in Schritt 4. Die unteren Windungen der unteren Spulen werden eingeschaltet und erzeugen eine abwärts gerichtete Kraft, die weiter die Südpole anzieht und die Nordpole abstößt. Also gehen die Magnete einen weiteren Schritt nach rechts, so dass sie sich wieder in der Ausgangsposition Schritt 1 befinden. Dann wiederholt sich der ganze Vorgang.

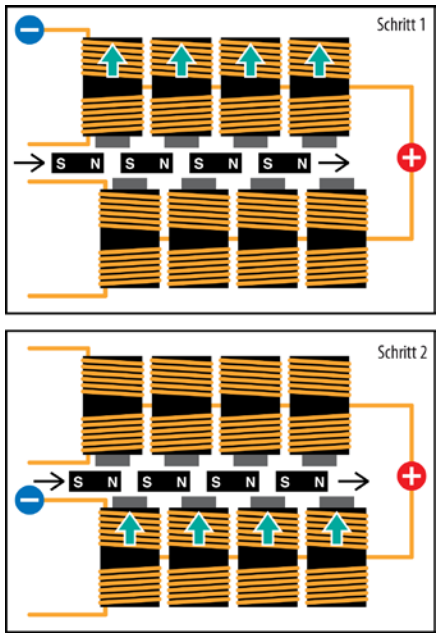


Abbildung 5-107. *Diese Bildfolge zeigt die ersten zwei Schritte, in denen sich der Rotor eines Schrittmotors (als eine Reihe von Nord-Süd-Magneten dargestellt) als Reaktion auf Impulse durch Elektromagneten bewegt.*

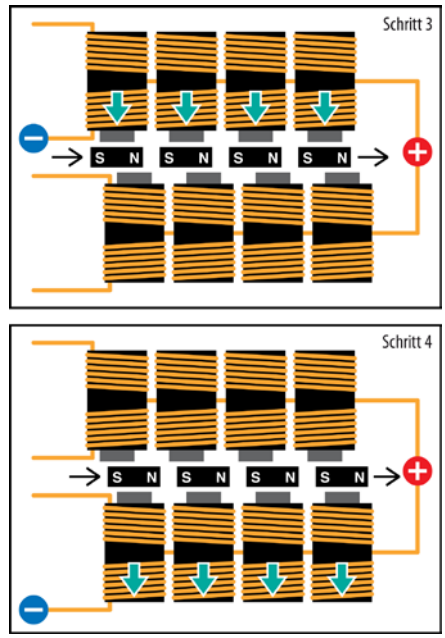


Abbildung 5-108. *Nach zwei weiteren Schritten ist der Motor wieder dort angekommen, an der er in Schritt 1 in Abbildung 5-111 angefangen hat.*

THEORIE

Ein Blick in den Schrittmotor (Fortsetzung)

In der Wirklichkeit sind die Magnete nicht voneinander getrennt. Die Kante des Rotors ist in Zonen magnetisiert. Nord- und Südpole wechseln sich ab. Anstelle von vielen Spulen gibt es nur vier Windungen, die um alle Magnetkerne herumführen. Die 3D-Grafik zeigt eine allgemeine Darstellung und auf dem Foto sieht man, was ich vorgefunden habe, als ich einen herkömmlichen Schrittmotor geöffnet habe.

Wenn dieser Motor mit einem Satz von 555-Timern angetrieben wird, verbinden wir nicht nur den Minuspol mit einem Draht nach dem anderen und lassen die anderen offen. In Wirklichkeit haben zu jedem Zeitpunkt drei der Timer einen negativen Ausgang und der vierte einen positiven. Die letzte Grafik in Abbildung 5-112 zeigt diese Situation.

Gehen wir davon aus, dass der oberste Draht positiv ist und die anderen drei negativ, wie in Abbildung 5-113 zu sehen ist. Der positive Ausgang macht nichts, weil er der positiven Spannung am anderen Ende der Spulen entspricht. Die zwei negativen Spannungen an den unteren beiden Windungen erzeugen zwei gleich große entgegengesetzte Kräfte, die sich gegenseitig aufheben (und dabei Strom verschwenden). Das Nettoergebnis ist also dasselbe wie in Schritt 3.

Wenn du beim Betrieb des Motors mit 555-Timern die gemeinsame Verbindung ganz weglässt, sollte sich der Motor sogar immer noch drehen, weil einer der Timer eine positive Spannung anlegt, wenn die anderen negativ sind. Nicht nur das, es ist sogar effizienter.

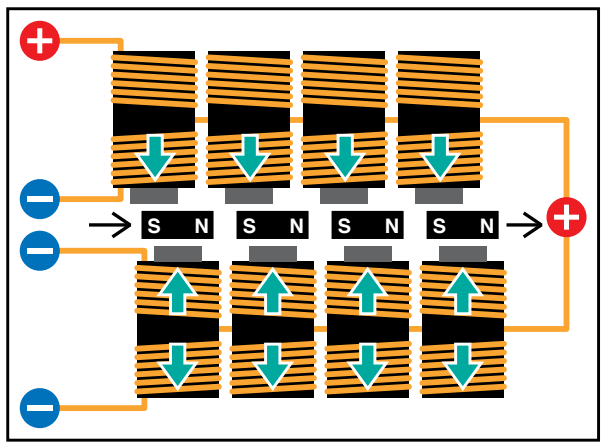


Abbildung 5-109. *Wenn der Motor von vier 555-Timern angetrieben wird, aktivieren diese ihn, indem sie als Stromsenke für positive Spannung dienen. Der Motor sieht im Inneren etwa so aus. Es ist nicht die effektivste Art, ihn zu bewegen.*

Die Abbildungen 5-114 und 5-115 helfen dir vielleicht bei der Vorstellung, wie der Motor im Inneren tatsächlich aussieht.

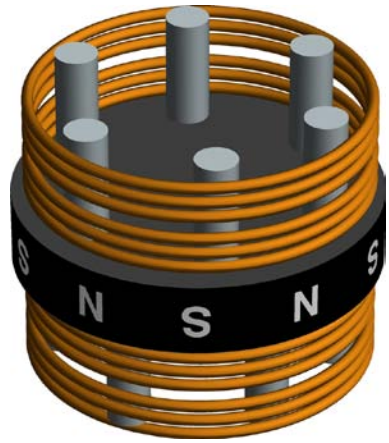


Abbildung 5-110. *Diese 3D-Grafik zeigt besser, wie ein normaler Schrittmotor im Inneren aussieht. Die Kupferspulen und grauen Röhren sind fixiert und die schwarze Scheibe dreht sich dazwischen.*

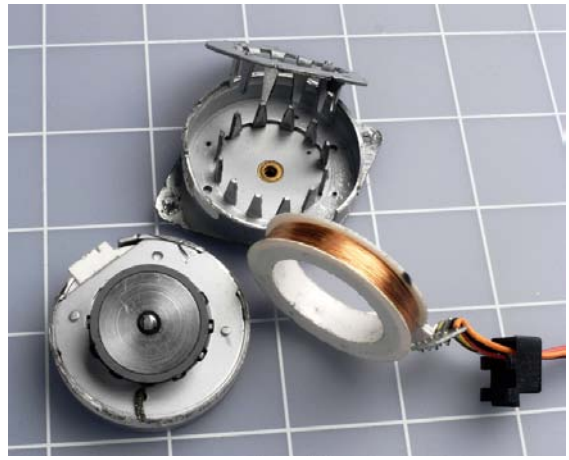


Abbildung 5-111. *Wenn man das Gehäuse eines Schrittmotors öffnet, sieht es in etwa so aus. Links der Rotor des Motors, um den ein magnetisiertes Band herumläuft und der noch an der Unterseite des Gehäuses befestigt ist. Auf der rechten Seite siehst du die obere geöffnete Gehäusehälfte, aus der die Spule entnommen wurde. (Die Windungen, die du sehen kannst, sind eigentlich zwei Spulen, die in unterschiedliche Richtungen gewickelt wurden.) Die Spitzen sind die Magnetkerne, die die Kraft auf den Rotor ausüben.*

Einstellen der Geschwindigkeit

Wenn du ein wirklich sehr guter Beobachter bist, ist dir vielleicht auch aufgefallen, dass ich im Schaltplan zum Antrieb des Schrittmotors in Abbildung 5-104 Pin 5 an allen Timern offen gelassen habe. Normalerweise sollte Pin 5 über einen Kondensator geerdet werden, um zu verhindern, dass er Streuspannungen auffängt, die die Genauigkeit des Chips beeinflussen könnten.

Ich habe die Pins offen gelassen, weil ich etwas mit ihnen vor habe. Wir wollen an dieser Stelle nämlich genau das Timing der Chips ändern können, um darüber die Geschwindigkeit des Schrittmotors einzustellen.

Wenn du Pin 5 aller Timer miteinander verbindest, so wie in Abbildung 5-112 gezeigt, und ein Trimmpotentiometer mit 2 kΩ (zu sehen in Abbildung 5-113) zwischen diesem Punkt und dem Minuspol der Stromquelle einsetzt, laufen die Timer schneller, wenn du den Trimmer so drehst, dass sein Widerstand sinkt. Abbildung 5-114 zeigt den Aufbau auf dem Steckbrett. Wenn der Widerstand unter ca. 150 Ohm sinkt, wird alles gestoppt. Die LEDs gehen aus, weil du die Spannung an Pin 5 unter den Grenzwert gesenkt hast, den der 555-Timer akzeptiert.

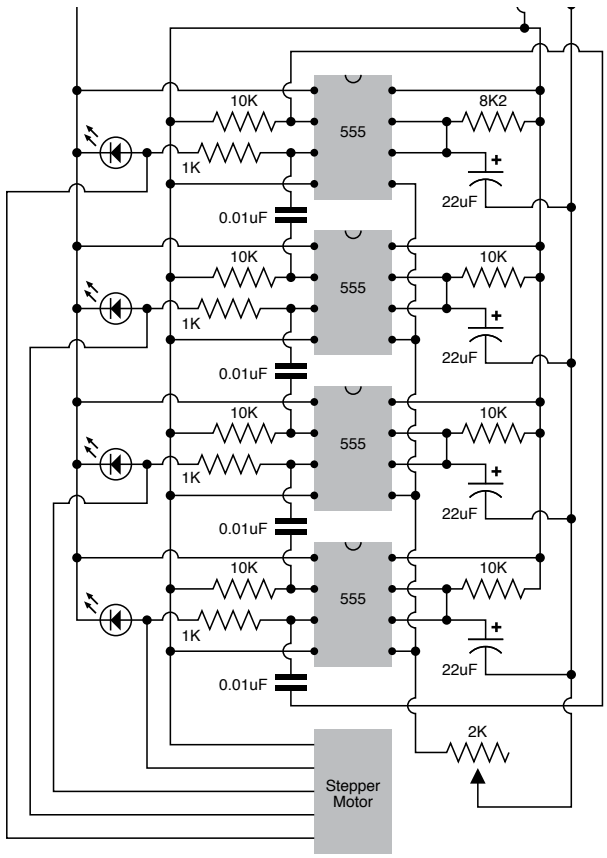


Abbildung 5-112. *Um die Geschwindigkeit der Sequenz der 555-Timer einzustellen, wurden ihre Steuerpins (Pin 5 an jedem Timer) miteinander verbunden und an ein Trimmpotentiometer angeschlossen, das den Widerstand zwischen den Pins und dem Minuspol der Stromquelle regelt.*

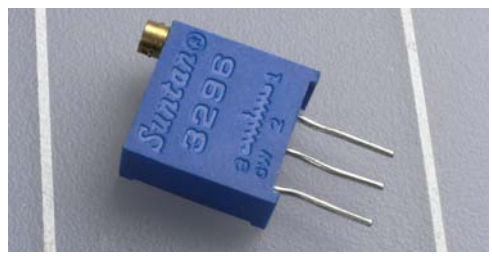


Abbildung 5-113. *Nahaufnahme eines Trimmpotentiometers, dessen Beinchen einen Abstand von 0,1 Zoll haben, so dass sie genau in ein Steckbrett oder eine Lochrasterplatine passen. Mit der Messingschraube oben links im Bild wird ein Schneckengewinde im Gehäuse gedreht, so dass der Widerstand genau eingestellt werden kann.*

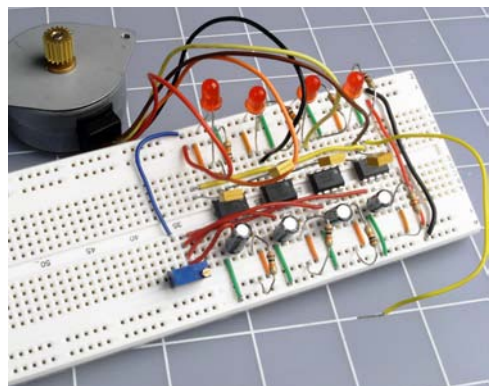


Abbildung 5-114. *Das Trimmpotentiometer wurde in die Schaltung eingebaut, um die Motorgeschwindigkeit zu steuern.*

Zu Anfang habe ich eine Taktdauer von einer Viertelsekunde vorgeschlagen, damit du sehen kannst, was passiert. Wenn du diese Schaltung tatsächlich einsetzt, brauchst du diese niedrige Geschwindigkeit nie. Du kannst also den ganzen Geschwindigkeitsbereich erhöhen. Ändere die Taktkondensatoren mit 22 µF auf einen Wert von z.B. 4,7 µF oder kleiner. Wenn du jetzt das Potentiometer einstellst, erhältst du einen brauchbaren Bereich von Geschwindigkeiten.

Der Wagen wird eigenständig

Im Moment macht die Schaltung nur das, was du ihr sagst. Im nächsten Schritt soll sie autonom werden. Anders gesagt: Sie soll den Eindruck machen, intelligent zu sein. Ich stelle mir vor, dass wir anstelle eines Trimmpotentiometers auch eine Fotozelle, genauer gesagt, einen Fotowiderstand einsetzen können. Der Widerstand eines Kadmiumsulfid-Fotowiderstands ist im Dunkeln am höchsten und am niedrigsten, wenn Licht darauf fällt.

Bei Fotowiderständen gibt es oft das Problem, dass sie nicht so einfach wie andere elektronische Bausteile erhältlich sind, da viele Händler nicht den Bastler als Kunden im Blick haben. Bei Conrad sind sie z.B. unter »Sensoren« zu finden; Reichelt listet sie im Bereich »Optoelektronik«. Suchbegriffe für englischsprachige Anbieter, z.B. unter *http://www.google.com/products*, sind »photocell« und »CdS« (Cadmiumsulfid).

Weil Fotowiderstände ähnlich wie Gleichstrommotoren nicht langfristig mit identischen Merkmalen erhältlich sind, gebe ich keine genauen Teilenummern an. Du kannst jedes Modell kaufen, dass einen passenden Minimalwiderstand (bei hellem Licht) und Maximalwiderstand (im der Dunkelheit) hat. Wenn du ein Bauteil findest, das von 500 bis 3000 Ω reicht, ist das eine sehr gute Wahl. Wenn du nur Fotowiderstände auftreiben kannst, die ein höheres Minimum als 500 Ω haben, kannst du auch mehrere von diesen parallel schalten.

Aufbau deines Lichtsuchroboters

Warum sollte man die Geschwindigkeit eines Schrittmotors mit einem Fotowiderstand steuern wollen? Weil die ursprüngliche Idee war, einen Roboter zu bauen, der von Licht angezogen wird.

Der Plan ist sehr einfach: Man benutzt zwei Schrittmotoren. Jeder steuert die Geschwindigkeit eines Seitenrads des Wagens. Man benutzt zwei Fotowiderstände, die jeweils die Geschwindigkeit des gegenüberliegenden Schrittmotors steuern. Wenn der rechte Fotowiderstand mehr Licht empfängt, sinkt sein Widerstand, so dass die Timer auf der linken Seite schneller laufen und sich das linke Rad schneller dreht. Also dreht sich der Wagen zum Licht hin. Abbildung 5-115 veranschaulicht dieses Konzept.

Bevor du aber anfängst, noch mehr 555-Timer zu verbauen, solltest du darüber nachdenken, mit passenderen Bauteilen zu arbeiten. ULN2001A und ULN2003A sind zwei Chips, die Darlington-Verstärker enthalten, die genau dafür geeignet sind, induktive Lasten wie Hubmagnete, Relais und (wie du dir denken kannst) Motoren mit Strom zu versorgen. Jeder Chips hat sieben Eingänge, die sehr

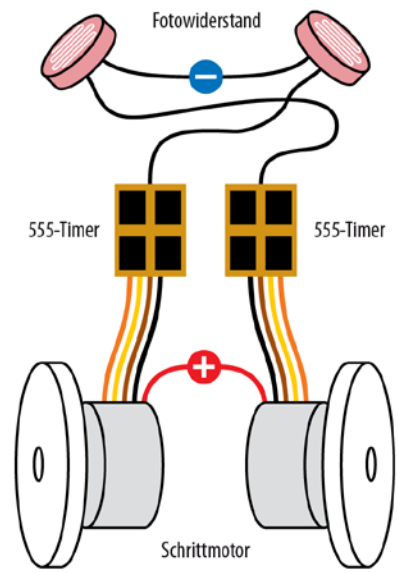


Abbildung 5-115. *Wenn zwei Fotowiderstände die Geschwindigkeit der zwei Schaltungen aus 555-Timern regeln, kann der Geschwindigkeitsunterschied zwischen den Rädern den Wagen einer Lichtquelle zuwenden.*

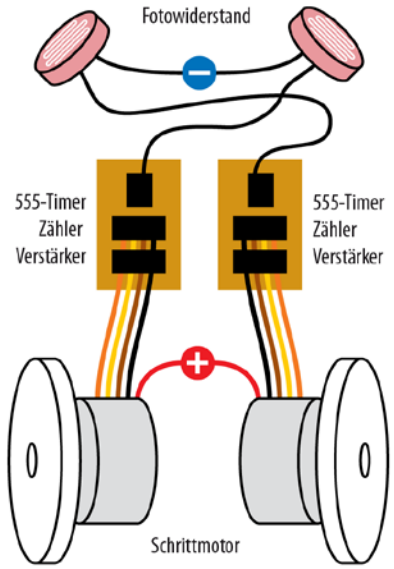


Abbildung 5-116. *Wenn man nur einen Timer pro Motor verwendet, um die Geschwindigkeit einzustellen, und daran einen Zähler und einen Verstärker (wie einen Darlington-Array-Chip) anschließt, der die Impulse aussendet, ist der Aufbau effizienter. Das Prinzip ist aber immer noch dasselbe.*

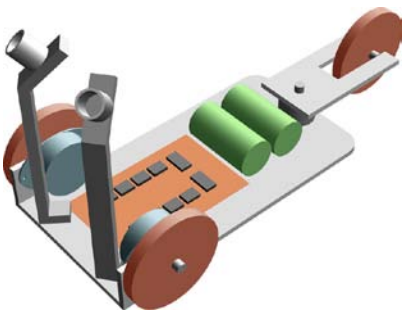


Abbildung 5-117. *Diese 3D-Grafik zeigt einen möglichen Aufbau des lichtsuchenden Wagens. Die zwei Fotowiderstände sind in kleinen Röhren eingebaut, um ihre Reaktion auf seitliches Licht einzuschränken.*

wenig Strom brauchen und sieben Ausgänge, die je 500 mA liefern können. Die Eingänge sind mit TTL und CMOS kompatibel (der 2001A hat eine größere Toleranz für Spannungen als der 2003A) und jeder Kanal des Chips funktioniert als Inverter. Wenn also am Eingang ein High-Pegel anliegt, schaltet der Ausgang auf Low-Pegel und dient als Stromsenke. Dies ist genau das, was wir für einen Schrittmotor mit einem gemeinsamen positiven Anschluss brauchen.

Der ULN2001A ist nur ein Verstärker, also muss davor noch ein Zähler kommen, der von 1 bis 4 geht und dann von vorne beginnt. Du kannst bei deinen 555-Timern bleiben, wenn du sie schon zusammengebaut hast, oder stattdessen fast jeden CMOS-Oktal- oder Dekadenzähler verwenden, der seine Ausgangsimpulse an eine Reihe von Pins ausgibt. Benutze einfach den Ausgang vom fünften Pin als »Carry«-Ausgang (Übertrag), um den Zähler neu zu starten. Ich habe einen CMOS-Zähler vorgeschlagen, weil er mit 12 Volt läuft, so dass du dieselbe Stromquelle benutzen kannst wie für deine Schrittmotoren.

Wenn du mit CMOS-Zählern arbeitest, brauchst du immer noch zwei 555-Timer, die Impulse an die Zähler senden. Die Timer sind freischwingend, im astabilen Modus und deine Fotowiderstände steuern ihre Geschwindigkeit. Abbildung 5-116 zeigt den Aufbau.

Noch eine letzte Sache: Du brauchst eine 12-Volt-Batterie. Du kannst natürlich auch acht Mignonzellen hintereinander schalten, aber ich finde, du solltest über einen wiederaufladbaren Akku nachdenken. Auch dafür gibt es verschiedene Bezugsquellen im Internet.

Wenn du alles zusammenbaust, sollte sich dein Roboterwagen in einem schwach beleuchteten Raum dem begrenzten Lichtkegel einer hellen Taschenlampe zuwenden. Um zuverlässige Ergebnisse zu erhalten, musst du möglicherweise beide Fotowiderstände in kurzen Rohrstücken montieren, damit sie deutlich mehr Licht erhalten, wenn sie der Taschenlampe zugewandt sind, und weniger, wenn nicht. Abbildung 5-117 zeigt eine 3D-Grafik des Konzepts.

Eine andere Möglichkeit wäre, deinen Wagen so zu verkabeln, dass er vor dem Licht flieht. Hast du schon eine Idee, wie man das umsetzen könnte?

Ein letzter Gedanke: Wenn du Infrarot-Fotowiderstände benutzt, kannst du deinen Wagen mit den Strahlen von Infrarot-LEDs bei normalem Tageslicht steuern. Wenn du und ein paar Freunde jeder einen Infrarotsender hat, kannst du deinen Wagen dazu bringen, von einer Person zur nächsten zu rennen wie ein gehorsamer Hund.

Das ist alles, was ich hier zum Thema Robotik anbieten kann. Du solltest unbedingt die Internetseiten zum Thema anschauen, wenn du dich weitergehend dafür interessierst. Du kannst auch eine Vielzahl von Roboter-Bausätzen kaufen, auch wenn ich natürlich denke, dass es mehr Spaß macht, solche Dinge selbst zu erfinden oder zu entwickeln.

Was jetzt noch bleibt, ist eine letzte Einführung. Sie gilt einem Gerät, dass dein Leben stark vereinfachen sollte, auch wenn es viel komplizierter ist als alles, womit wir uns bisher beschäftigt haben.

Experiment 34: Hardware trifft auf Software

Im Verlauf dieses Buches habe ich dich, ganz in Übereinstimmung mit dem Ziel des »Lernens durch Entdeckung« immer gebeten, mit einem Experiment anzufangen. Danach habe ich dann auf die zugrundeliegenden Prinzipien erläutert und auf die Ideen hingewiesen, die wir daraus entwickeln können. Ich muss diese Methode jetzt ändern, weil die nächsten Experimente so viel Vorbereitung erfordern, dass es nur fair ist, dir vorher zu sagen, was dich erwartet.

Wir betreten das Gebiet der Mikrocontroller, auf Englisch auch oft MCUs (micro controller units) abgekürzt. Ein Mikrocontroller enthält Flash-Speicher, der ein Programm speichern kann, das du selbst geschrieben hast. Der Flash-Speicher ist wie der Speicher in einem tragbaren Mediaplayer oder auf der Speicherkarte, die man in einer Digitalkamera benutzt. Er benötigt keinen Strom, um etwas dauerhaft abzuspeichern. Der Chip enthält außerdem einen Prozessor, der die Anweisungen in deinem Programm ausführt. Er hat einen RAM, in dem die Werte von Variablen zwischenzeitlich gespeichert werden können, und einen ROM, der ihm sagt, wie er Aufgaben erfüllt, z.B. wie ein veränderliches Spannungssignal erkannt und für den internen Gebrauch in digitale Form umgewandelt werden soll. Er enthält auch einen genauen Oszillator, so dass er Zeit messen kann. Alles zusammen in einem Gehäuse ergibt einen winzigen Computer, den du für weniger als 5 Euro kaufen kannst.

Gehen wir davon aus, dass du ein Gewächshaus hast, in dem die Temperatur nie unter Null Grad sinken darf. Dort baust du einen Temperatursensor und zwei verschiedene Heizungen ein. Du willst die erste Heizung einschalten, wenn die Temperatur unter 3 °C fällt. Wenn aus irgendeinem Grund diese Heizung nicht funktioniert, willst du die zweite (Ersatz-)Heizung einschalten, wenn die Temperatur unter 2 °C fällt.

Es kann sehr einfach sein, einen Mikrocontroller zu programmieren, um dies entsprechend umzusetzen. Du könntest sogar noch Zusatzfunktionen hinzufügen, zum Beispiel einen zweiten Temperatursensor, nur falls der erste ausfällt, und du könntest den Chip anweisen, den Sensor zu benutzen, der einen niedrigeren Wert angibt.

Eine andere Anwendung für einen Mikrocontroller wäre ein ziemlich leistungsfähiges Sicherheitssystem. Der Chip könnte den Zustand von verschiedenen Einbruchsensoren überwachen und mehrere vorprogrammierte Schritte abarbeiten, je nach dem Zustand der Sensoren. Man könnte auch Verzögerungen programmieren.

Viele Mikrocontroller haben sinnvolle Zusatzfunktionen gleich eingebaut, wie z.B. die Möglichkeit, Servos zu steuern, die sich auf einen bestimmten Winkel stellen, wenn sie eine Reihe von Impulsen erhalten. Servos werden im Modellbau bei ferngesteuerten Booten und Flugzeugen und für Roboter eingesetzt.

Vielleicht fragst du dich jetzt Folgendes: Wenn Mikrocontroller das alles können, warum haben wir sie nicht die ganze Zeit schon benutzt? Warum habe ich so viel Zeit auf die Beschreibung verwendet, wie man eine Alarmanlage mit diskreten Bauteilen entwickelt, wenn ein Chip das alles erledigen kann?

Darauf gibt es drei Antworten:

1. Mikrocontroller können nicht alles. Sie benötigen andere Bauteile, die ihnen helfen, mit der Welt zu interagieren, u.a. Transistoren, Relais, Sensoren und Verstärker. Du musst wissen, wie diese Teile funktionieren, damit du sie klug einsetzen kannst.
2. Mikrocontroller können ihre eigenen Probleme und Fehler mit sich bringen, die nicht nur mit Hardware, sondern auch zusätzlich mit Software zu tun haben.
3. Mikrocontroller haben Grenzen und Einschränkungen. Sie benötigen eine geregelte Spannungsquelle von 5 Volt und ihre Anschlüsse eignen sich nur als Stromquellen oder -senken für schwache Ströme. Du musst außerdem eine Programmiersprache lernen (jeder Hersteller hat eine andere). Und um das Programm in den Chip zu bekommen, musst du ihn außerdem an einen Computer stecken können und das Programm hineinladen, was nicht immer so einfach ist.

In diesem Experiment lernst du, wie du ein Programm für einen kleinen und einfachen Mikrocontroller schreiben kannst. Dann kopierst du das Programm auf den Chip und probierst es aus.

HINTERGRUNDWISSEN

Die Ursprünge von programmierbaren Chips

Viele Abläufe in Fabriken und Laboren wiederholen sich ständig: Ein Flusssensor muss ein Heizelememt steuern. Ein Bewegungssensor muss die Geschwindigkeit eines Motors einstellen. Für diese Routineaufgaben sind Mikrocontroller genau richtig.

Eine Firma namens General Instrument führte 1976 eine frühe Reihe von Mikrocontrollern ein und nannte sie PICs, was für »Programmable Intelligent Computer« (programmierbarer intelligenter Computer) oder »Programmable Interface Controller« (programmierbarer Schnittstellenregler) steht, je nachdem welcher Quelle man glaubt. General Instrument verkaufte die Marke an eine andere Firma namens Microchip Technology, die sie heute noch besitzt.

»PIC« ist ein Markennamne, wird aber auch manchmal als Oberbegriff benutzt, wie bei Tesafilm. Für dieses Buch habe ich eine Reihe von Controllern ausgewählt, die auf der PIC-Architektur basieren. Sie wurden von einer britischen Firma namens Revolution Education Ltd. lizenziert, die ihre Chipreihe PICAXE nennt, was wohl nur daran liegt, dass es cool klingt (engl. »pickaxe«: Spitzhacke).

Ich mag diese Mikrocontroller, weil sie ursprünglich als Unterrichtsmaterial entwickelt wurden und weil sie sehr einfach zu benutzen sind. Sie sind billig und einige von ihnen außerdem sehr leistungsfähig. Trotz ihres komischen Namens bieten sie meiner Meinung nach die beste Möglichkeit, die Grundideen von Mikrocontrollern kennenzulernen.

Nachdem du mit dem PICAXE herumgespielt hast und nun mehr mit Mikrocontrollern machen willst, empfehle ich die BASIC Stamp (die eine sehr ähnliche Sprache nutzt, aber mit zusätzlichen leistungsstarken Befehlen) und den sehr beliebten Arduino (der eine neuere Entwicklung ist, aber für dessen Programmierung du eine Variante der Sprache C lernen musst). Ich sage später noch mehr zu diesen Chips.

Wenn du in der englischen Wikipedia-Ausgabe den Begriff PICAXE nachschlägst, findest du eine sehr gute Einleitung zu den verschiedenen Funktionen. Ich glaube sogar, dass sie eine bessere Übersicht bietet als die PICAXE-Webseite.

Verbrauchsmaterialien

Abbildung 5-118 zeigt einige der Chips aus der PICAXE-Reihe. Ich zeige dir, wie du den kleinsten benutzt, den 08M, der weniger als 4 Euro kostet und billiger als alle anderen Mikrocontroller ist, die ich gefunden habe. Er hat nur 256 Byte Speicherplatz für ein Programm (nicht Gigabyte, Megabyte oder Kilobyte, nur 256 Byte!), aber du wirst überrascht sein, wie viele Möglichkeiten man damit hat. Abbildung 5-119 zeigt eine Nahaufnahme eines 08M, dessen Anschlüsse sicher in leitendem Schaumstoff stecken.

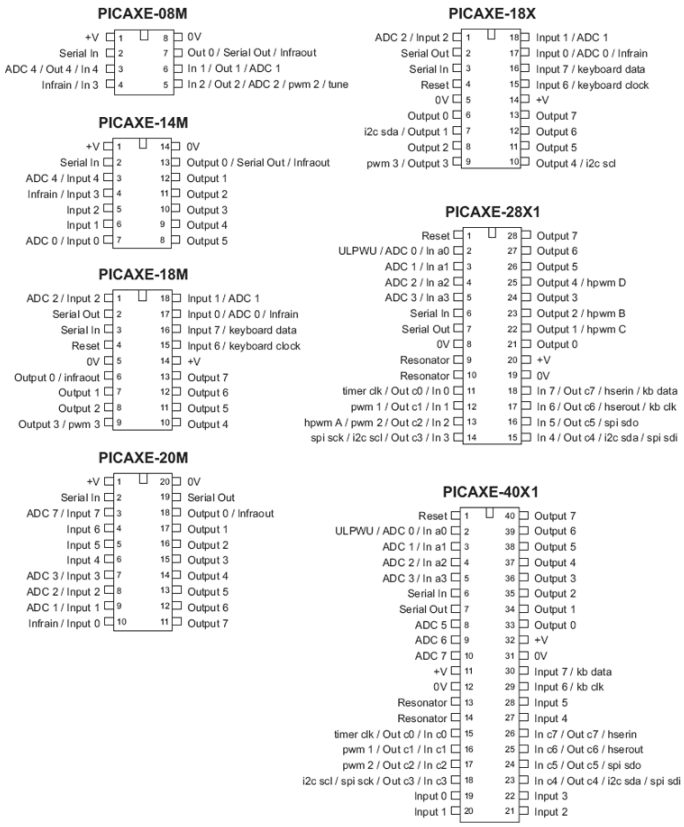


Abbildung 5-118. *Auf einer Seite des PICAXE-Katalogs sind nur einige der lieferbaren Chips abgebildet. Die Chips sind heute nützliche Hilfsmittel beim Prototypenbau, auch wenn sie als Lehrmittel gedacht waren.*

Online bekommst du PICAXE-Controller z.B. über *http://www.roboter-teile.de* und *http://www.sparkfun.com*.

Alle Anbieter haben auch »Starter Packs« im Angebot, wie das in Abbildung 5-120 gezeigte. Für unsere Zwecke brauchst du aber nur den Chip. Kaufe besser gleich zwei davon, falls dir einer kaputt geht (wenn du z.B. die Spannung falsch herum anschließt).

Um deine Programmanweisungen in den Chip zu laden, musst du diese Anweisungen zuerst in einen Computer eingeben und dann über ein Kabel in den Speicher des PICAXE kopieren. Du musst also ein Kabel kaufen und du brauchst geeignete Software, die dir hilft, das Programm zu schreiben.

Abbildung 5-119. *In der Regel erhält man einen Chip wie den PICAXE 08M in einem kleinen Stückchen leitenden Schaumstoff. Der Chip ist genau so groß wie ein 555-Timer, hat aber die Leistung eines winzigen Computers.*

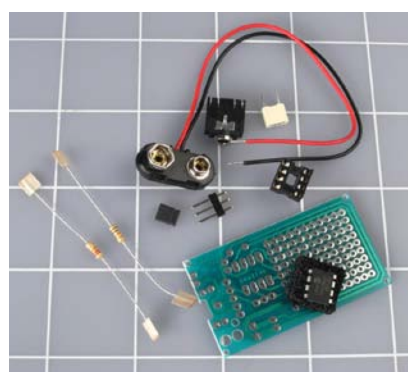


Abbildung 5-120. *Ein normales PICAXE-Set enthält eine Platine, die du möglicherweise gar nicht brauchst, und einige andere Bauteile. Nicht alle sind wichtig, aber die 3,5-mm-Stereobuchse (oben, mittig) wird immer gebraucht.*

Abbildung 5-121. *Das USB-Kabel für den PICAXE endet in einem 3,5-mm-Klinkenstecker. Diesen solltest du nicht in ein Audiogerät einstecken. Er stellt eine serielle Verbindung mit einem Computer her, so dass Programmcode in den Chip geladen werden kann.*

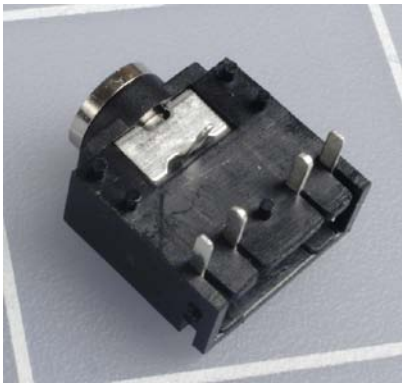


Abbildung 5-122. *Nahaufnahmeder3,5-mm-Stereobuchse, die mit dem USB-Kabel benutzt wird.*

Du kannst den PICAXE mit einem seriellen Kabel benutzen, aber davon rate ich ab. Der alte RS-232-Standard für serielle Kommunikation von PCs ist technisch überholt. Von PICAXE gibt es ein USB-Kabel (bei dem ein serieller Konverter im Stecker eingebaut ist), das etwas mehr kostet, aber auch einfacher zu benutzen ist und auch an Apple-Computern angeschlossen werden kann. Das Kabel hat die Bezeichnung AXE027 und wird z.B. bei *http://www.sparkfun.com* unter der Artikelnummer PGM-08312 angeboten. Das Kabel ist in Abbildung 5-121 zu sehen.

Das richtige Programm um deine Software zu schreiben und über das Kabel in den Chip zu übertragen, ist der PICAXE Programming Editor. Es wird aber nur für Windows angeboten. Für Mac OS X und Linux gibt es ein anderes kostenloses Programm namens AXEpad, das über nicht ganz so viele Funktionen verfügt, aber vollkommen ausreicht. Diese Programme können kostenlos unter *http://www.rev-ed.co.uk/picaxe/software.htm* heruntergeladen werden.

Außerdem brauchst du noch eine 3,5-mm-Stereoklinkenbuchse mit Lötanschlüssen, da das USB-Kabel in einem Klinkenstecker endet, den du ja auch irgendwo einstecken musst. Bei SparkFun gibt es einen Steckbrett-Adapter unter der Bestellummer DEV-08331, der die passende Buchse und noch einige weitere Teile enthält. Anzahl: 1. Siehe Abbildung 5-122.

Der teuerste Artikel auf der Liste ist komischerweise das USB-Kabel, was an der dort eingebauten Schaltung liegt.

Installieren und einrichten der Software

Jetzt musst du durch die Installationsprozedur hindurch, das lässt sich nicht vermeiden. Diese beinhaltet folgende Schritte:

1. Einen Treiber installieren, damit dein Computer das spezielle USB-Kabel erkennt.
2. Die Software (Programming Editor oder AXEpad) installieren, damit dir dein Computer dabei helfen kann, Programme zu schreiben und sie auf den Chip zu laden.
3. Den PICAXE auf dein Steckbrett setzen und die Buchse dazu stecken, um die Programme ausführen zu können.

Diese Schritte werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

Der USB-Treiber

Eine Warnung: Wenn du auf die PICAXE-Website gehst und die Suchfunktion benutzt, findest du vermutlich nicht das, was du suchst. Wenn du z.B. nach »USB driver« suchst, bekommst du kein passendes Suchergebnis.

Die PICAXE-Homepage hat auch ein irritierendes Navigationsmenü, dessen Einträge immer dann verschwinden, wenn man darauf klicken will. Du kannst das aber auch umgehen, indem du direkt die Downloadseite unter *http://www.rev-ed.co.uk/picaxe/software.htm* aufrufst.

Weiter unten auf der Seite, unter der ganzen Software, gibt es einen Bereich »Additional Resources«. Suche nach »AXE027 PICAXE USB Download Cable«. Es sieht auf den ersten Blick so aus, als ob man dir ein Kabel verkaufen will, aber es ist nur die Liste der Treiber. Klicke auf den Treiber, der zu deinem Betriebssystem passt, und speichere die Datei auf deinem Computer so ab, dass du sie auch wieder findest.

Achte darauf, nicht aus Versehen den Treiber für den USB-Serial-Adapter USB010 herunterzuladen. Dieser Adapter ist etwas ganz anderes.

Wenn das zip-Archiv beim Speichern nicht automatisch entpackt wurde, musst du es erst entpacken, meistens, indem du einfach doppelt darauf klickst. Unter den entpackten Dateien gibt es auch ein PDF-Dokument mit einer Installationsanleitung, die auch online unter *http://www.rev-ed.co.uk/docs/AXE027.pdf* verfügbar ist.

Falls du den Treiber unter Windows installieren möchtest, habe ich hier ein paar Tipps zur Vermeidung unnötiger Frustration,:

1. Vergiss nicht, das spezielle USB-Kabel enthält elektronische Bauteile. Es ist nicht nur ein Kabel, sondern ein Gerät, dass dazu dient, mit dem PICAXE-Chip zu kommunizieren. Versuche nicht, es für etwas anderes zu benutzen!
2. Du musst das Kabel in einen USB-Anschluss stecken, bevor du den Treiber installierst, weil der Computer überprüfen muss, ab der Treiber zum Kabel passt.
3. Du darfst den PICAXE nicht am anderen Ende des Kabels anschließen, bevor du den Treiber installiert hast.
4. Jeder USB-Anschluss an deinem Computer hat eine eigene Kennung. Du solltest immer den Anschluss benutzen, an den du das Kabel bei der Installation angeschlossen hast. Ansonsten erneut dem Computer erklären, was das für ein Kabel ist.
5. Daher solltest du auch vermeiden, das Kabel über einen USB-Hub anzuschließen.
6. Das Kabel spielt dem PICAXE vor, dass er mit einem seriellen Port an deinem Computer kommuniziert. Diese Kommunikationsanschlüsse heißen dort COM1, COM2, COM3 oder COM4. Wenn du den Treiber installierst, wählt die Installation einen dieser COM-Ports für dich aus, und du musst dir merken, welcher es ist. Die PDF-Anleitung sollte dir bei diesem Vorgang helfen. Du kannst sie leider nicht überspringen.

Die Software »Programming Editor«

Wenn du bis zu dieser Stelle gekommen bist, kannst du den nächsten großen Schritt machen, der viel einfacher ist. Du brauchst den PICAXE Programming Editor, der kostenlos auf der Download-Webseite verfügbar ist, auf der du auch den USB-Treiber gefunden hast. (Wenn du einen Mac oder Linux benutzt, brauchst du AXEpad von derselben Webseite.)

Du solltest den Programming Editor einfach und problemlos herunterladen und installieren können. Sobald du dies erledigt hast, sollte es eine Verknüpfung auf deinem Schreibtisch geben. Starte das Programm gehe auf View → Options und klicke in dem Fenster, das sich öffnet (zu sehen in Abbildung 5-123) auf die Registerkarte »Serial Port«. Du siehst das Dialogfenster, das in Abbildung 5-124 gezeigt wird. Hier musst du darauf achten, das der COM-Port angewählt ist, der bei der Installation des USB-Treibers angegeben wurde. Ansonsten kann das Programm deinen PICAXE-Chip nicht finden. Klicke noch auf die Registerkarte »Mode« und wähle den passenden Chip, 08M, aus.

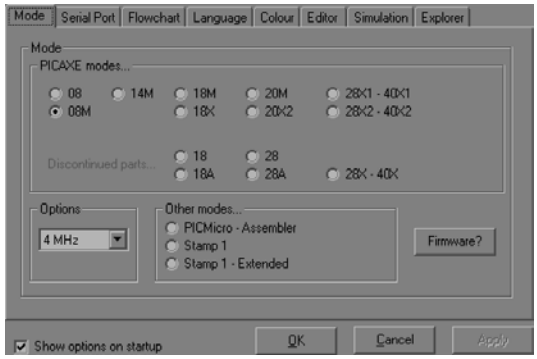


Abbildung 5-123. *Dieser Screenshot zeigt die Einstellungen im PICAXE »Program Editor«, die du für den Chip auswählen musst, den du programmieren willst. (In unserem Fall, den 08M).*

Abbildung 5-124. *Noch ein Screenshot der Einstellungen zeigt die zweite wichtige vorzunehmende Auswahl: Du musst den COM-Port auswählen, den das Installationsprogramm auf deinem PC angelegt hat.*

Das macht doch Spaß, oder? Nein, eigentlich nicht, aber damit hast du den schwierigen Teil erst einmal hinter dir. Nun folgt der letzte Schritt, bevor du deinen PICAXE benutzen kannst: Du musst ihn und die Buchse auf deinem Steckbrett aufbauen.

Hardware-Aufbau

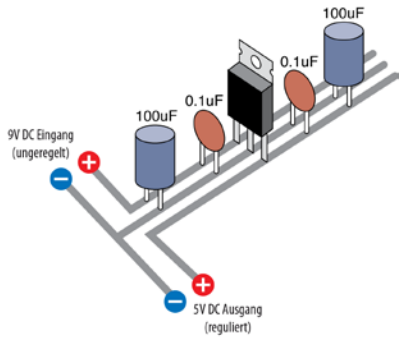


Abbildung 5-125. *Die PICAXE-Dokumentation gibt an, dass Kondensatoren mit 100 µF und 0,1 µF an der Eingangsseite eines 5-Volt-Spannungsreglers und ein identisches Paar an der Ausgangsseite eingesetzt werden sollen. Man kann sie so auf einem Steckbrett anordnen.*

Der PICAXE 08M sieht aus wie ein 555-Timer. (Andere Chips aus der PICAXE-Reihe haben mehr Pins und mehr Funktionen.) Er benötigt eine geregelte Spannung von 5 Volt, genau wie die Logikchips, mit denen du vorher schon gearbeitet hast. Die PICAXE-Hersteller sind sogar ziemlich nachdrücklich, was den Schutz vor Spannungsspitzen angeht. Sie wollen, dass du auf jeder Seite eines LM7805 zwei Kondensatoren (einen mit 100 µF, einen mit 0,1 µF) benutzt. Das klingt übertrieben, aber ein PICAXE ist nicht so einfach zu ersetzen wie ein 555-Timer. Du bekommst ihn jedenfalls nicht direkt bei Conrad. Also machen wir zur Sicherheit das, was der Hersteller sagt, und bauen alles auf ein Steckbrett so wie in den Abbildungen 5-125 und 5-126.

Jetzt kommen wir zum Chip. Beachte, dass die Pins für Plus- und Minuspol der Stromquelle denen des 555-Timers genau entgegen gesetzt sind, also sei vorsichtig!

Baue dein Steckbrett nach dem Schaltplan aus Abbildung 5-127 auf. Die Stereobuchse ist hier von unten zu sehen, weil ich glaube, dass du sie auch so herum benutzen wirst. Wenn du versuchst, die Anschlüsse in die Löcher im

Steckbrett zu stecken, passen sie zwar, aber wenn du den Stecker in die Buchse hineinsteckst, wird die Dicke des Steckers die Buchse soweit anheben, dass sie den Kontakt verliert. Ich glaube wirklich, dass es am besten ist, Drähte an die Anschlüsse der Buchse zu löten und dann die Drähte in das Steckbrett zu stecken. Siehe Abbildung 5-129.

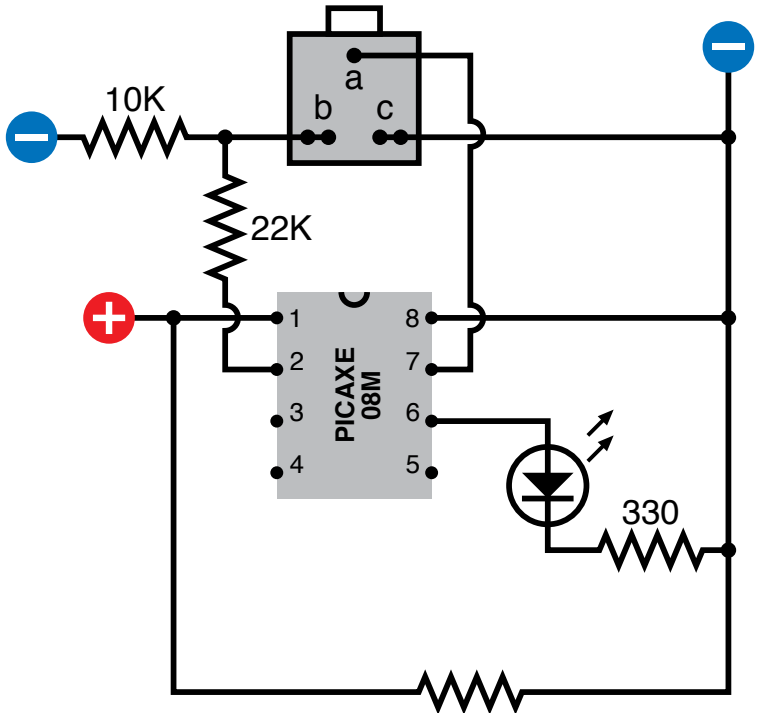


Abbildung 5-127. *Der Schaltplan einer Testschaltung für den PICAXE 08M zeigt die Stereobuchse von unten, die unverzichtbaren Widerstände mit 10 kΩ und 22 kΩ für den Eingangspin und eine LED zur Anzeige am Ausgang des Chips.*

Beachte, dass sich die Anleitung des PICAXE hier unterscheidet. (Ich habe daraus aber die Bezeichnungen für die Anschlüsse der Buchse und des Steckers übernommen, die als a, b und c bezeichnet werden.)

Ein kleines Detail zur Buchse, die oft für die Benutzung mit dem PICAXE geliefert wird: In der Regel hat sie zwei Kontakte für jeden der Anschlüsse, die in der Anleitung und in meiner Zeichnung b und c heißen. Wenn du dort einen Draht anlötest, sollte deine Lötstelle an beiden Anschlüssen je beide Kontakte umfassen, wie in Abbildung 5-128 zu sehen ist. Denke daran, dass der PICAXE 5 Volt benötigt und dass der Spannungsregler diese Spannung nur sicher liefern kann, wenn du am Eingang mehr Spannung anlegst. Wenn du dort 9 Volt anschließt, reicht es sicher aus.

Die Widerstände mit 22 kΩ und 10 kΩ sind für die Benutzung des Chips unverzichtbar, lies dazu auch die nebenstehende Warnung. Mein Schaltplan enthält außerdem eine LED und einen 300-Ω-Widerstand, aber diese werden nur für den Test gebraucht, den wir gleich durchführen werden.

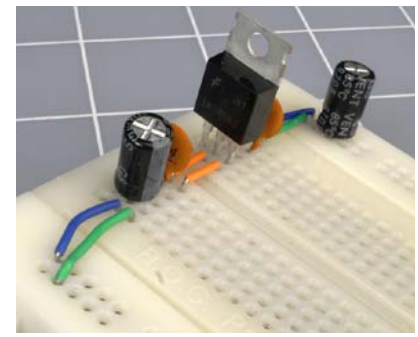


Abbildung 5-128. *Die richtigen Bauteile zur Spannungsreglung auf dem Steckbrett, die 5 Volt (Plus- und Minuspol) auf beiden Seiten liefern.*

Pull-Down an Pin 2

Du musst immer die Widerstände mit 22 kΩ und 10 kΩ so wie in Abbildung 5-131 benutzen. Diese Widerstände legen die richtige Spannung an die serielle Verbindung an und ziehen die Spannung an Pin 2 herunter, wenn du den PICAXE ohne Verbindung benutzt.

Wenn Pin 2 keine Verbindung hat (also schwebt), kann er zufällige Spannungen auffangen, die der Chip möglicherweise als ein neues Programm oder andere Anweisungen missversteht, was zu unvorhersehbaren und ungewollten Ergebnissen führen kann.

Die Widerstände mit 22 kΩ und 10 kΩ sollten mit den PICAXE dauerhaft zusammen verwendet werden, egal ob er an den Computer angeschlossen ist oder nicht.

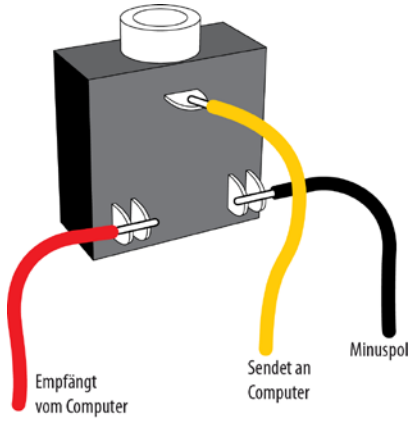


Abbildung 5-128. *Die richtige Verdrahtung der Buchse ist unverzichtbar. Wenn du Drähte an die unteren Anschlüsse lötest, achte darauf, dass sie jeweils über beide Anschlusspaare reichen.*

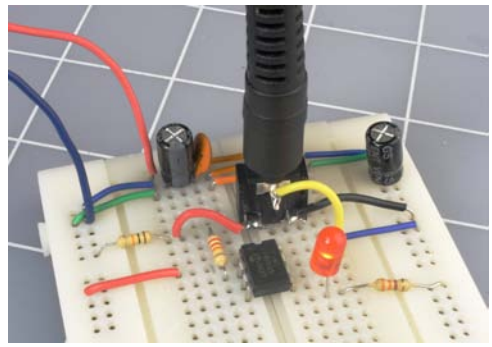


Abbildung 5-129. *Die Testschaltung wurde auf dem Steckbrett aufgebaut und der Stecker des USB-Kabels in die Buchse eingesteckt. Der PICAXE-Chip kann jetzt Programmcode empfangen und beginnt danach sofort mit der Ausführung desselben.*

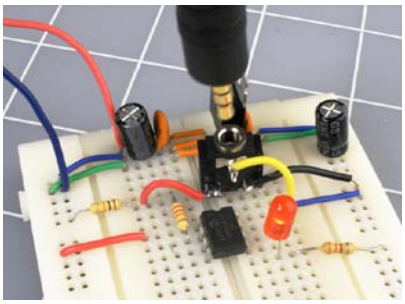


Abbildung 5-130. *Nachdem das Programm übertragen wurde, kann der Stecker entfernt werden. Das Programm läuft dann weiter, so dass die LED weiter blinkt.*

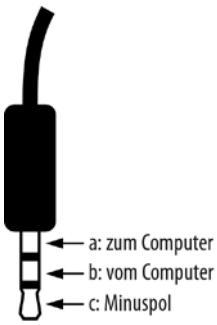


Abbildung 5-131. *Der Stereostecker am Ende des USB-Kabels kann zur Fehlersuche benutzt werden. Ein Multimeter, das auf Gleichspannung eingestellt ist, kann mit den Anschlüssen b und c des Steckers verbunden werden, um herauszufinden, ob der Editor seine Daten über die serielle Verbindung schickt.*

Überprüfen der Verbindung

Die folgenden Schritte solltest du bei jeder Programmierung oder Neuprogrammierung deines PICAXE-Chips sorgfältig abarbeiten:

1. Stecke den USB-Stecker deines PICAXE-Kabeln in denselben USB-Port, den du vorher benutzt hast.
2. Starte den Programming Editor (oder AXEpad, wenn du ein Mac OS oder Linux benutzt).
3. Vergewissere dich im Programming Editor unter View → Options, dass der richtige COM-Port und der 08M-Chip ausgewählt sind.
4. Stecke den Klinkenstecker in die Buchse, die jetzt mit deinem Steckbrett verbunden ist. Siehe Abbildungen 5-129 und 5-130.
5. Überprüfe alle Drähte und schließe dein Netzteil an das Steckbrett an.
6. Klicke auf die Schaltfläche »Program« im Editorfenster, um die Software anzuweisen, nach dem PICAXE zu suchen.

Was ist, wenn das nicht funktioniert?

Zuerst solltest du den Stecker des USB-Kabels aus der Buchse auf dem Steckbrett ziehen, aber das andere Ende am Computer stecken lassen. Stelle dein Multimeter auf Gleichspannung und halte die Messspitzen an die Abschnitte b und c des Steckers. Siehe Abbildung 5-131. Klicke noch einmal auf die Schaltfläche »program«. Nun sollte dein Multimeter für kurze Zeit 5 Volt messen, die aus dem Computer auf das Kabel übertragen werden.

Wenn du Spannung misst, ist die Software installiert und funktioniert auch richtig. In diesem Fall kann das Problem nur auf dem Steckbrett liegen, entweder beim Chip oder bei den Verbindungen um ihn herum.

Wenn du gar keine Spannung messen kannst, wurde die Software vermutlich nicht richtig installiert oder sie sucht nach dem falschen seriellen Port. Versuche es mit einer Neuinstallation.

Dein erstes Programm

Endlich bist du bereit, dein erstes Programm zu schreiben. Tippe den folgenden Code in das Fenster des Programming Editor:

```
main:
    high 1
    pause 1000
    low 1
    pause 1000
    goto main
```

Vergiss nicht den Doppelpunkt nach dem Wort »main« in der ersten Zeile. In Abbildung 5-132 ist ein Screenshot zu sehen. Die Einrückung erhält man, indem man die Tabulator-Taste drückt. Diese Einrückungen dienen nur der besseren Lesbarkeit des Programmcodes. Die Software ignoriert sie.

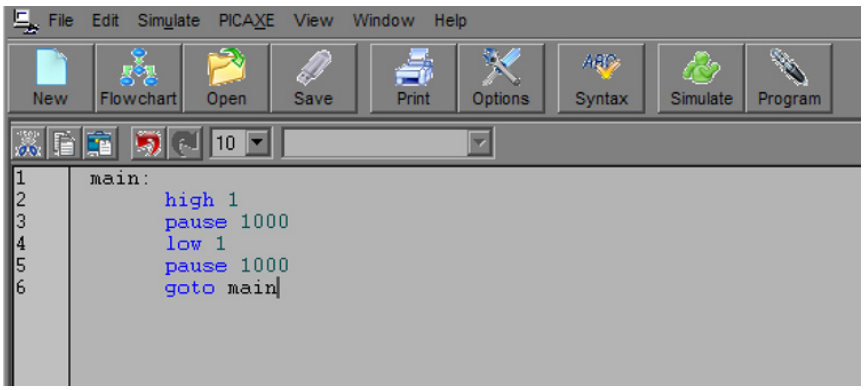


Abbildung 5-132. *Dieser Screenshot zeigt das erste Testprogramm, so wie es im Programming Editor (unter Windows) aussehen sollte.*

Klicke auf die Schaltfläche »Program«, um das Programm in den Chip zu laden. Sobald die Übertragung abgeschlossen ist, sollte der Chip die LED blinken lassen, so dass sie für eine Sekunde angeht und dann wieder eine Sekunde lang aus ist. Abbildung 5-133 zeigt die Schritte, die du bei der Programmierung des Chips befolgt haben solltest.

Und jetzt zum interessanten Teil: Stecke das USB-Kabel vom Steckbrett ab. Die LED sollte weiter blinken.

Schalte dein Netzteil aus oder stecke es ab und warte ein bis zwei Minuten, bis die Kondensatoren ihre Ladung verloren haben. Schalte den Strom wieder ein. Die LEDs fängt wieder an zu blinken.

Das Programm, dass du in den Chip geladen hast, wird im Speicher des Chips verbleiben und immer dann ausgeführt, wenn der Chip mit Strom versorgt wird.

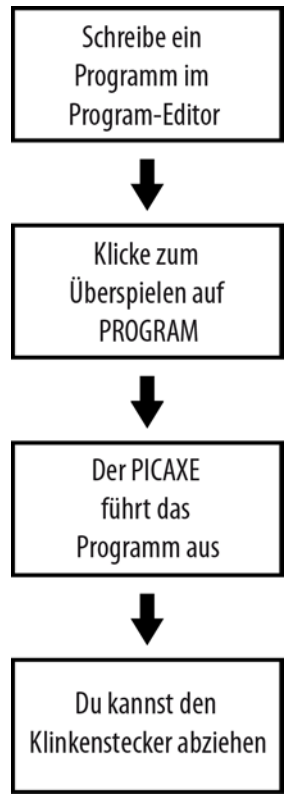


Abbildung 5-133. *Vier Schritte, die du durchführen musst, um eine Programm zu schreiben und auf dem PICAXE-Chip laufen zu lassen.*

Das Programm benutzt nicht die normale Pin-Nummerierung am Chip, sondern andere Nummern, die ich »Logikpin«-Nummern genannt habe. Abbildung 5-138 zeigt die Nummerierung. Abbildung 5-139 zeigt die entsprechenden Mehrfachfunktionen. Ich habe Logikpin 0 in Klammern geschrieben, weil sein Hauptzweck darin besteht, Daten über das USB-Kabel an den Computer zu schicken. Man kann ihn auch als Digitalausgang benutzen, muss aber erst das USB-Kabel abziehen. Das vergisst man leicht. Es ist eine Unannehmlichkeit, die ich lieber vermeide.

Was der Code bedeutet

Schauen wir uns einmal das kleine Programm an, dass du eingetippt hast. Die erste Zeile identifiziert einen Abschnitt im Programm. Das vorliegende Programm hat nur einen Abschnitt, den wir »main« (Hauptabschnitt) genannt haben. Bei Wörtern, denen ein Doppelpunkt folgt, handelt es sich um Namen von Programmabschnitten:

```
main:
```

Die zweite Zeile weist den Chip an, den Logic Pin 1 auf einen High-Pegel zu setzen:

```
high 1
```

Die dritte Zeile des Programms veranlasst den Chip, 1000 Millisekunden lang zu warten. Das entspricht natürlich einer Sekunde:

```
pause 1000
```

Die vierte Zeile weist den Chip an, den Logic Pin 1 zurück auf Low-Pegel zu setzen:

```
low 1
```

Die fünfte Zeile veranlasst den Chip, wieder 1000 Millisekunden zu warten:

```
pause 1000
```

Die letzte Zeile weist den Chip an, zurück an den Anfang des Abschnitts »main« zu gehen:

```
goto main
```

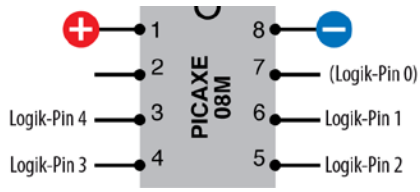


Abbildung 5-134. *Die herkömmlichen Pin-Nummern des PICAXE-Chips sind nicht mit der Nummerierung identisch, die in der PICAXE-Programmiersprache benutzt wird. Um Verwirrung zu vermeiden, ist in dieser Anleitung von »Logikpins« die Rede, wenn die Nummerierung zur Programmierung des Chips gemeint ist.*

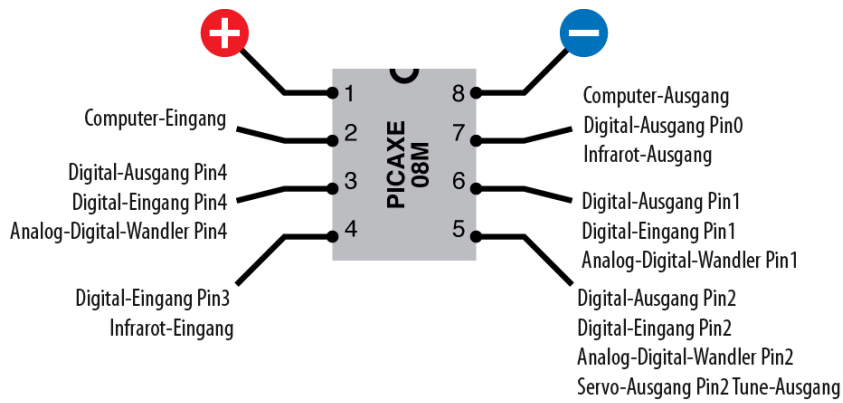


Abbildung 5-135. *Viele der Pins des PICAXE 08M haben Mehrfachfunktionen, die mit den entsprechenden Programmanweisungen ausgewählt werden können.*

Bearbeiten

Was ist, wenn du das Programm verändern willst? Kein Problem! Benutze den Programming Editor, um eine der Zeilen im Programm zu verändern. Schreibe z.B. 100 anstelle 1000 Millisekunden. (Dem »pause«-Befehl kann jede Zahl bis 65535 folgen.) Kennzeichne die Tausenderstellen in Zahlen in deinem Programm dabei nicht mit einem Punkt.

Stecke das USB-Kabel wieder am Steckbrett ein, klicke auf »Program«, und die neue Version des Programms wird automatisch auf den Chip geladen und überschreibt die alte Version.

Was ist, wenn du das Programm für später abspeichern willst? Speichere das Programm einfach über das »File«-Menü des Editors und auf der Festplatte deines Computers. Weil der PICAXE eine Form der BASIC-Programmiersprache benutzt, lautet die Dateiendung *.bas*.

Simulation

Wenn du einen einfachen Tippfehler machst, findet der Programming Editor ihn und hindert dich daran, das Programm zu übertragen. Du kannst dann die Fehler suchen und sie in den betreffenden Zeilen korrigieren.

Auch wenn alle Befehle in deinem Programm korrekt eingegeben sind, ist es immer eine gute Idee, eine Simulation dessen, was sie tun, durchgehen, bevor du sie überträgst. Das geht leicht: Klicke auf »Simulate« in der Menüzeile des Editors. Es öffnet sich ein neues Fenster mit einer schematischen Darstellung des PICAXE-Chips und dem Zustand seiner Pins. (Achte darauf, dass die Simulation nicht schnell genug läuft, um alles im Echtzeit wiederzugeben, wenn du sehr kurze Pause-Befehle benutzt.) Ein Screenshot der Simulation ist in Abbildung 5-136 zu sehen.

Die Schaltfläche »>>« in der unteren rechten Ecke des Simulationsfensters öffnet eine Liste aller Variablen in deinem Programm. Bisher sind hier noch keine Variablen aufgeführt, aber das ändert sich bald. Die ganzen Nullen an der rechten Seite sind Binärzahlen, die du im Moment ignorieren kannst.

Du musst im zweiten Teil der PICAXE-Dokumentation nachsehen, die alle Programmbefehle und ihre korrekte Syntax enthält. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Buches ist sie hier zu finden: http://www.rev-ed.co.uk/docs/picaxe_manual2.pdf.

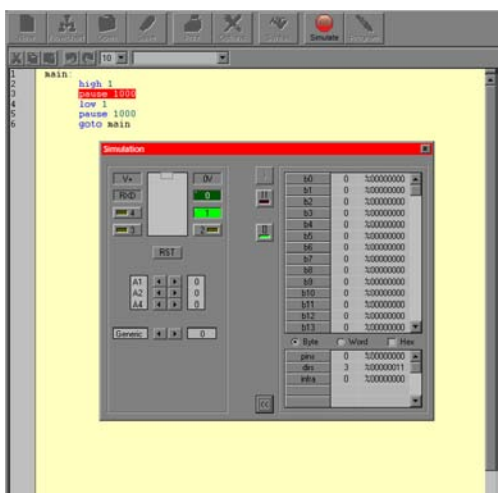


Abbildung 5-136. *Die blauen Anmerkungen erklären, welche Anweisungen das Programm auf der rechten Seite dem PICAXE gibt.*

Schleifen:

Es gibt noch eine Sache, die du ausprobieren sollest. Schreibe deinen Programmcode wie folgt um und lade ihn auf den PICAXE:

```
main:
    for b0 = 1 to 5
        high 1
        pause 200
        low 1
        pause 200
    next
    wait 2
    goto main
```

Achte darauf, dass b0 der Buchstabe b gefolgt von einer Null ist, nicht der Buchstabe b gefolgt vom Buchstaben O. Die zusätzlichen Einrückungen dienen auch hier wieder der besseren Lesbarkeit des Programms. Die vier Zeilen von »high 1« bis »pause 200« werden wiederholt ausgeführt. Es ist hilfreich, sie als einen Abschnitt zu sehen.

Achte auf die LED und schau, was passiert. Sie sollte fünf Mal schnell blinken, anschließend für zwei Sekunden abwarten und dann wiederholt sich das Ganze. Du hast deinem Programm gerade eine Schleife hinzugefügt. Du kannst eine Schleife benutzen, wenn eine Anweisung wiederholt ausgeführt werden soll.

Abbildung 5-137. *Um zu verstehen, wie ein Programm funktioniert, ist es hilfreich, dir eine Variable wie einen Zettelkasten vorstellen, auf dem außen der Name steht und innen eine Zahl aufbewahrt wird.*

b0 wird als *Variable* bezeichnet. Du kannst sie dir wir einen kleinen Karton vorstellen, dessen Name, b0, außen mit einem Etikett angebracht ist. Abbildung 5-137 veranschaulicht diese Idee. Dieser eine Karton kann jede Zahl von 0 bis 255 enthalten. Die Schleife beginnt damit, dass der Computer den Befehl erhält, die Zahl 1 in die Kiste zu tun und dann die weiteren Befehle abzuarbeiten, bis das Wort »next« (nächster) den Prozessor wieder zur ersten Zeile zurückschickt. An dieser Stelle wird 1 zum Inhalt von b0 hinzuaddiert. Wenn der Wert von b0 einen Betrag von 5 oder weniger hat, wiederholt sich die Schleife. Wenn der Wert 6 beträgt, ist die Schleife fünfmal durchgelaufen, und somit beendet. Der PICAXE springt dann zum Befehl »wait 2« nach dem »next« und fährt dann im Programm weiter fort. Siehe Abbildung 5-138 für eine kommentierte Version des Programms.

»wait« (warte) ist ein PICAXE-Befehl, der in ganzen Sekunden angegeben wird, also wartet »wait 2« zwei Sekunden lang. Danach sorgt »goto main« (gehe zu »main«) dafür, dass der Ablauf von vorne beginnt.

Wenn dein Blinklicht-Test funktioniert hat, können wir jetzt einen Schritt weitergehen und mit dem Chip etwas sinnvolles anfangen.

Abbildung 5-138. *Die blauen Anmerkungen erklären, welche Anweisungen das Programm auf der rechten Seite dem PICAXE gibt.*

GRUNDLAGEN

Grundlegende PICAXE-Parameter

Es folgen einige der wichtigsten Kenndaten des PICAXE:

- Der PICAXE benötigt 5 Volt, geregelt.
- Die Ein- und Ausgänge des PICAXE sind mit 5-Volt-Logikchips kompatibel. Du kannst sie direkt anschließen.
- Jeder PICAXE kann als Stromquelle und Stromsenke für bis zu 20 mA dienen. Der ganze Chips kann bis zu 90 mA liefern. Das bedeutet, dass du LEDs direkt an den Pins betreiben kannst, ebenso Piezo-Schallgeber (die sehr wenig Strom aufnehmen) und Transistoren.
- Du kannst einen Chip wie das Darlington-Arrauy ULN2001A (im vorherigen Experiment erwähnt) benutzen, um den Ausgang vom PICAXE zu verstärken und ein Relais oder einen Motor anzutreiben.
- Der Chip führt jede Zeile deines Programms in ungefähr 0,1 Millisekunden aus.
- Der 08M-Chip hat genug Flashspeicher für ca. 80 Codezeilen. Andere PICAXE-Chips haben mehr Speicher.
- Der PICAXE hat 14 Variablen, die b0 bis b13 heißen. Das »b« steht für »byte«, da jede Variable über ein einzelnes Byte als Inhalt verfügt. Jede Variable kann einen Wert von 0 bis 255 enthalten.
- In Variablen sind keine negativen oder reellen Zahlen erlaubt, nur natürliche Zahlen.
- Es gibt auch sieben Doppel-Byte-Variablen, die w0 bis w6 heißen. »w« steht für »word« (Wort). Jede kann einen Wert zwischen 0 und 65535 enthalten.
- Die »b«-Variablen belegen den gleichen Speicherplatz wie die »w«-Variablen. Daher gilt Folgendes:
  - b0 und b1 benutzen dieselben Bytes wie w0.
  - b2 und b3 benutzen dieselben Bytes wie w1.
  - b4 und b5 benutzen dieselben Bytes wie w2.
  - b6 und b7 benutzen dieselben Bytes wie w3.
  - b8 und b9 benutzen dieselben Bytes wie w4.
  - b10 und b11 benutzen dieselben Bytes wie w5.
  - b12 und b13 benutzen dieselben Bytes wie w6.

  Wenn du also w0 als Variable verwendest, dann benutze nicht b0 oder b1. Wenn du b6 als Variable verwendest, dann benutze nicht w3 usw.
- Die Werte der Variablen werden im RAM gespeichert und verschwinden, wenn der Strom abgeschaltet wird.
- Das Programm wird im nichtflüchtigen Speicher gespeichert und bleibt erhalten, wenn der Strom abgeschaltet wird.
- Der Hersteller gibt an, dass der nichtflüchtige Speicher bis zu 100.000 Mal überschreibbar ist.
- Wenn du einen Schalter oder Taster an einen Pin anschließt, um ihn als Eingangssignal zu benutzen, solltest du einen pull-down-Widerstand mit 10 kΩ zwischen dem Pin und dem Minuspol schalten, um den Pin auf dem Low-Pegel zu halten, wenn der Schalter geöffnet ist. Abbildung 5-143 zeigt, wie die pull-down-Widerstände zusammen mit einem Schalter und einem Taster benutzt werden sollten.
- Am 08M-Chip kannst du einen veränderlichen Widerstand zwischen den Logikpins 1, 2 oder 4 und dem Minuspol anlegen. Der Chip kann diesen dann messen und »entscheiden«, was er tut. Dies ist die Funktion der »Analog-Digital-Wandlung«, die uns zum nächsten Experiment führt.

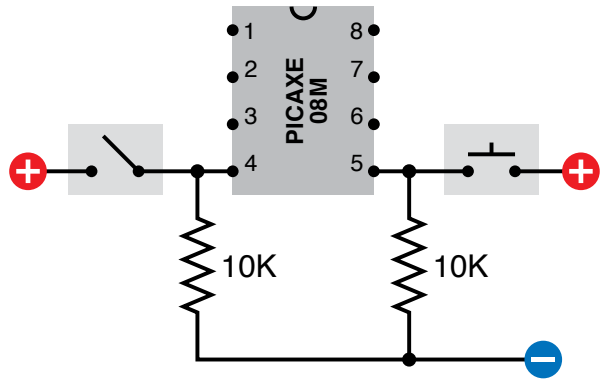


Abbildung 5-139. *Der PICAXE kann auf den Zustand eines Schalters oder Tasters reagieren, der an einem seiner Pins angeschlossen ist, der sich als Eingang eignet. Man muss einen 10-kΩ-Widerstand als Pull-Down verwenden, um den Pin auf Masse zu ziehen, wenn der Schaltkontakt geöffnet ist. Andernfalls bekommt man unvorhersehbare Ergebnisse.*

Experiment 35: Verbindung zur Umwelt

Meistens wollen wir, dass ein Mikrocontroller etwas misst und entsprechend reagiert. Er kann zum Beispiel eine fallende Temperatur messen und einen Alarm ausläsen, wie ich schon in einem Beispiel vorgeschlagen hatte.

Der PICAXE hat drei Analog-Digital-Konverter (ADCs) eingebaut, die über die Logikpins 1, 2 und 4 erreichbar sind, wie in Abbildung 5-135 zu sehen ist. Am besten benutzt man sie, indem man ein Potential zwischen 0 und 5 Volt anlegt. In diesem Experiment zeige ich dir, wie man die Reaktion des Chips festlegt.

Das brauchst du:

- Trimmpotentiometer, 2 kΩ. Anzahl: 1.
- PICAXE-08M-Chip, passendes USB-Kabel und die geeignete Buchse. Anzahl: Je 1.

Ablauf

Nimm das Trimmpoti, das du in Experiment 32 benutzt hast, und verbinde seinen mittleren Anschluss mit Logikpin 2 des PICAXE (was der Hardwarepin 5 ist). Die anderen zwei Anschlüsse des 2-kΩ-Trimmpotis führen Plus- und Minuspol. Das bedeutet, dass je nachdem, wie du den Trimmer einstellst, der Pin des PICAXE direkt mit dem Pluspol (an einem Ende des Drehwegs) oder direkt mit dem Minuspol (am anderen Ende des Drehwegs) verbunden ist oder irgendwo dazwischen. Siehe Abbildung 5-140 für den neuen Schaltplan und Abbildung 5-141 für ein Foto der Schaltung auf dem Steckbrett.

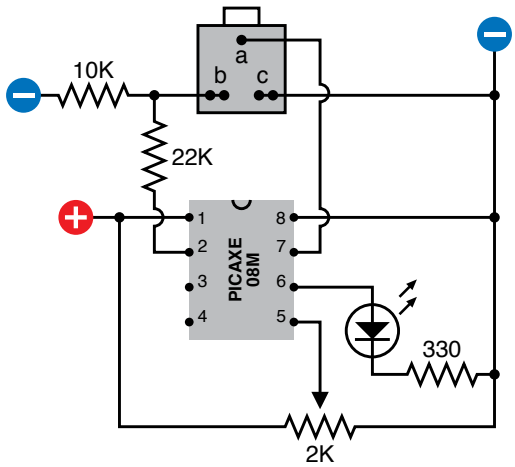


Abbildung 5-140. *Dieser Schaltplan ist so aufgebaut, dass er sich leicht auf einem Steckbrett nachbauen lässt. Er zeigt, wie man ein 2-kΩ-Poti benutzt, um eine veränderbare Spannung an einen der Pins des PICAXE anzulegen, der in der Lage ist, ein Analogsignal in einen digitalen Wert umzurechnen.*

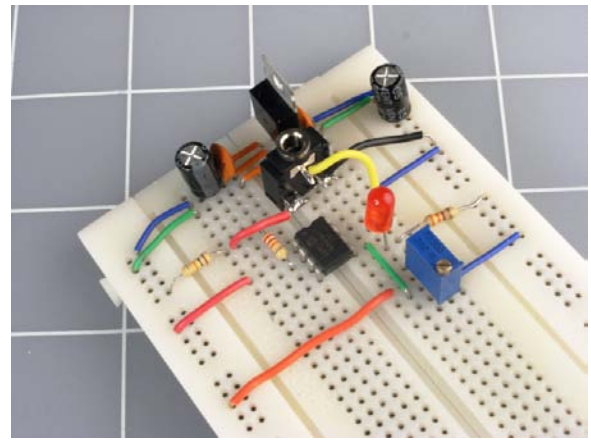


Abbildung 5-141. *Das Trimmpoti wurde der Schaltung auf dem Steckbrett hinzugefügt.*

Jetzt brauchen wir ein Programm, das den Chip entsprechend anweist. Lege im Programming Editor ein neues Dokument an. Der Code sollte wie folgt aussehen:

```
main:
    readadc 2,b0
    debug b0
    goto main
```

Der Befehl »readacd 2,b0« bedeutet »lies das analoge Eingangssignal an Logikpin 2, konvertiere es von analog zu digital und speichere das Ergebnis in b0«.

Der Befehl »debug b0« weist den Chip an, in den Debug-Modus (Fehlersuche) zu wechseln, in dem er über das USB-Kabel dem Programming Editor die Werte aller Variablen schickt, während das Programm läuft. Die Variablen werden in einem neuen Fenster angezeigt.

Übertrage das Programm. Sobald das Programm ausgeführt wird, sollte sich das Debug-Fenster öffnen. Drehe am Trimmpoti und achte auf den Wert von b0, der sich verändern sollte.

Du kannst eine Tabelle anlegen und eine Kurve zeichnen, die das Verhältnis zwischen dem Widerstand an Logikpin 2 und Masse und dem Wert von b0 zeigt. Ziehe einfach den Trimmer vom Steckbrett ab, miss den Widerstand mit dem Multimeter, erhöhe dann den Widerstand um z.B. 200 Ω, stecke den Trimmer wieder in das Steckbrett und sieh dir den Wert von b0 erneut an.

Das ist aufwändig, aber das Abstimmen von Geräten ist immer arbeitsintensiv. Nun, ich habe beschlossen, dir die Arbeit abzunehmen. Das Diagramm ist in Abbildung 5-142 zu sehen. Du kannst dir auch die Originalwerte in der folgenden Tabelle anschauen. Ich war erfreut, als ich herausgefunden hatte, dass der PICAXE sehr genau und linear auf die Eingangsspannung reagiert. Anders gesagt, die Kurve ist eine gerade Linie.

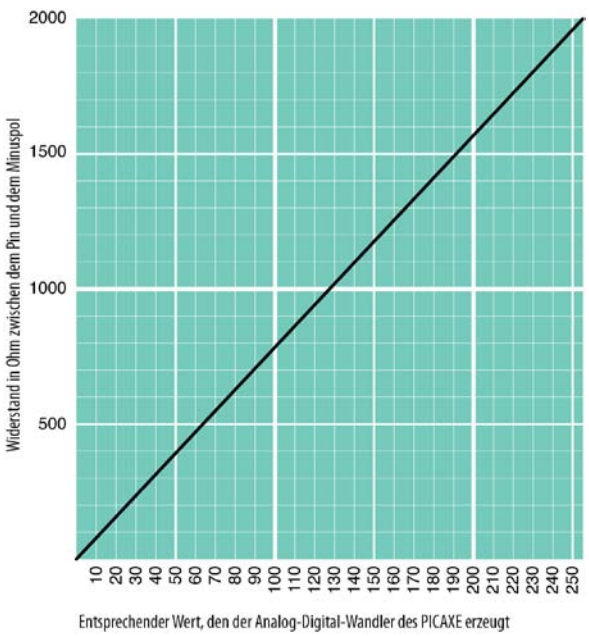


Abbildung 5-142. *Wenn der ADC-Eingangspin mit einem 2-kΩ-Potentiometer verbunden wird, das an dieselbe Spannung wie der Chip angeschlossen ist, sollte der Widerstand zwischen dem Eingangspin und dem Minuspol der Stromquelle eine Reihe von digitalen Werten liefern, die im Diagramm eingetragen sind. Achte darauf, dass das Potentiometer einen Wert von 2 kΩ haben muss und die Versorgungsspannung genau 5 Volt beträgt.*

Die folgende Tabelle zeigt die Messwerte, die mit dem PICAXE-08M-Controller entstanden sind.

Widerstand (in Ohm) zwischen dem ADC-Pin und dem Minuspol	Entsprechender digitaler Wert
2000	255
1900	243
1800	230
1700	218
1600	205
1500	192
1400	179
1300	166
1200	154
1100	141
1000	128
900	115
800	102
700	90
600	77
500	64
400	51
300	38
200	26
100	13
0	0

Jetzt können wir das Programm so verändern, dass es etwas mit den Daten anstellt, die es erhält:

```
main:
    readadc 2,b0
    let w1 = 5 * b0
    high 1
    pause w1
    low 1
    pause w1
    goto main
```

Achte darauf, was hier geschieht. Zuerst speichern wir einen Wert in b0 und in der nächsten Zeile rechnen wir dann mit diesem. Das Sternchen bedeutet »multipliziere«. Also bedeutet der Befehl »Nimm den Wert von b0, multipliziere ihn mit 5 und speichere ihn in einer anderen Variable, w1«. Wir müssen eine w-Variable benutzen, weil wir eine größere Zahl als 255 erhalten können, die nicht mehr in eine Byte-Variable passt, wenn wir b0 mit 5 multiplizieren.

Dann nehmen wir die Variable w1 und benutzen sie zusammen mit einem »pause«-Befehl anstelle einer feststehenden Zahl. Wir geben PICAXE die Anweisung »Mache eine Pause für die Dauer in Mikrosekunden, die im Wert von w1 stehen«. Also liest die Software einen veränderlichen Widerstand aus, wandelt ihn in eine Zahl um und verwendet diese Zahl, um die Blinkgeschwindigkeit der LED zu modifizieren.

Denk noch einmal an unseren Wagen, der mit Schrittmotoren läuft. Dort mussten wir zwei Fotowiderstände auslesen und die Geschwindigkeit des Motors entsprechend einstellen. Du siehst, dass dieses PICAXE-Programm ein Schritt in die richtige Richtung ist. Es kann die Spannung an einem Pin messen und die Ausgangsfrequenz an einem anderen Pin einstellen. Wenn du zwei PICAXE-Chips hättest, könntest du jeden mit einem Fotowiderstand und einem Motor verbinden. Dann könntest du das Verhalten des Wagens einstellen, indem du die zweite Programmzeile veränderst, in der der Wert von b0 in den Wert von w1 umgewandelt wird, der wiederum im »pause«-Befehl dazu benutzt wird, die Anzahl der Impulse pro Sekunde festzulegen. Du könntest auch mit 5 anstatt mit 7 multiplizieren oder mit einer anderen Zahl, die dir das Ergebnis liefert, das du brauchst. Daraus ergibt sich eine wichtige Schlussfolgerung: *Ein großer Vorteil von programmierbaren Chips besteht darin, dass du Änderungen in Software vornehmen kannst*.

Weil der PICAXE 08M sogar mehr als nur einen ADC-Eingang hat und drei Pins besitzt, die als Ausgang benutzt werden können, fragst du dich vielleicht, ob wir einfach den einzelnen Chip benutzen könnten, um beide Motoren in Abhängigkeit von den Eingangssignalen der zwei Sensoren zu steuern. Das Problem hierbei besteht darin, dass die drei Ausgangspins des 08M gleichzeitig die drei ADC-Eingangspins sind. Du solltest dafür also besser einen der größeren PICAXE-Chips kaufen, z.B. den 18M, der mehr Pins für die Benutzung bietet. Er wird mit denselben Grundbefehlen programmiert und kostet nicht viel.

Du solltest auch die PICAXE-Dokumentation lesen und dir den Befehl »pwmout« anschauen. Diese Bezeichnung steht für »pulse-width modulation output« (Pulsbreiten-Modulations-Ausgang). Dieser Ausgang ist dafür gedacht, Schrittmotoren anzutreiben. Dort kann eine Ausgangsfrequenz von Impulsen ausgegeben werden, die durchgängig weiterlaufen, während der Chip andere Befehle in seinem Programm ausführt.

GRUNDLAGEN

Zusatz-Fähigkeiten

Eine vollständige Anleitung zum 08M könnte ein eigenes Buch füllen. Natürlich gibt es solche Bücher schon (suche einfach online bei Buchhändlern nach dem Stichwort »picaxe«). Ich beende meine Einführung zu diesem Mikrocontroller aber mit einer Liste seiner zusätzlichen Fähigkeiten, so dass du sie nachlesen und ausprobieren kannst. Dann werde ich ein letztes Experiment vorstellen.

Interrupts

Der PICAXE 08M ermöglicht dir, einen »Interrupt« (Unterbrechung) zu setzen. Diese Funktion sagt dem Chip, dass er sich eine gedankliche Notiz machen soll, so dass er beim Auftreten eines bestimmten Ereignisses, z.B. ein Schalter, der eine Spannung an einen Pin anlegt, sofort das unterbricht, was er gerade anderes macht und auf die Unterbrechung reagiert.

Infrarot

Ein Pin am PICAXE 08M kann dazu benutzt werden, Infrarotsignale von einer Fernbedienung zu empfangen, die du bei den gleichen Händlern wie den PICAXE kaufen kannst. Wenn du einen Infrarotsensor an den Chip anschließt, kannst du Befehle schnurlos übermitteln. Wenn du einen ferngesteuerten Roboter bauen willst, bietet der Chip dazu gleich die entsprechenden Möglichkeiten mit.

Servos

Jeder PICAXE-Chip hat mindestens einen PIN, der eine Reihe von Impulsen senden kann, um einen herkömmlichen Servo anzusteuern. Beim 08M-Chip ist das Logikpin 2. Die Breite jedes Impulses sagt dem Motor, wie weit er von seiner Mittelstellung ausgehend rotieren soll, bevor er anhält. Diese Impulse kann man auch mit einem 555 senden, aber mit einem PICAXE geht es einfacher. Du kannst online nach mehr Informationen über Servos suchen, die sich besonders für die Lenkung von Fahrzeugen, die Einstellung der Klappen an Modellflugzeugen und Bewegungen von Robotern eignen.

Musik

Der PICAXE hat einen integrierten Tongenerator, der mit dem Befehl »tune« (Melodie) programmiert werden kann, um Melodien abzuspielen, die du in einem einfachen Code schreiben kannst.

Alphanumerische Ein-/Ausgabe

Bei den PICAXE-Modellen 20X2, 28X1, 28X2, 40X1 und 40X2 gibt es den Befehl »kbin«. Du kannst eine normale Computertastatur an den Chip anschließen, und dieser kann dann die Tastendrücke erkennen. Du kannst auch alphanumerische Displays anschließen, das ist allerdings nicht ganz so einfach. Wenn du zum Beispiel herausfinden willst, welche Taste auf einer Tastatur gedrückt wurde, muss dein Programm eine Liste der speziellen Hexadezimalcodes enthalten, die von der Tastatur erzeugt werden.

Erzeugung von Pseudozufallszahlen

Alle PICAXE-Chips können Pseudozufallszahlen mittels eines integrierten Algorithmus erzeugen. Wenn du den Zahlengenerator startest, indem du den Benutzer um einen Tastendruck bittest und dann die willkürliche Dauer bis zu diesem Zeitpunkt misst, kannst du den Pseudozufallszahlengenerator mit dieser Zahl starten, so dass das Ergebnis weniger vorhersehbar ist.

In der Anleitung unter *http://www.rev-ed.co.uk/docs/picaxe_manual1.pdf* findest du noch viel mehr.

Experiment 36: Noch einmal zum Schloss

Das Zahlenschloss, das ich in Experiment 20 beschrieben habe, ist besonders für einen Mikrocontroller geeignet, weil es eine Abfolge von Arbeitsschritten erfordert, die einem Computerprogramm ähneln. Ich werde dir zeigen, wie dieses Projekt mit einem PICAXE 08M umgesetzt werden kann und überlasse es dann dir, herauszufinden, wie einige der anderen Projekte in diesem Buch angepasst werden könnten.

Das brauchst du:

- Den gleichen Ziffernblock und das Relais, die in Experiment 20 empfohlen wurden.
- Einen Transistor oder Darlington-Array, um den Ausgang der PICAXE zu verstärken, um damit das Relais anzusteuern.

Einlesen der Benutzereingabe

Jeder der Eingangspins des PICAXE kann das Schließen eines Schalters erkennen. Das Problem liegt nur darin, dass wir lediglich drei Pins haben, die hierfür geeignet sind und auch der leistungsfähigste PICAXE-Chip weniger als 10 dieser Pins besitzt. Wie können wir also einen Ziffernblock mit zehn Tasten an den 08M anschließen?

Ich habe einen Vorschlag: Schließe verschiedene Widerstände an den Ziffernblock an, so dass jede Taste eine andere Spannung an einen der ADC-Pins anlegt. Dann benutze die ADC-Funktion, um die Spannung in einen Wert umzuwandeln, und benutze eine Tabelle von möglichen Werten, um herauszufinden, welche Taste gedrückt wurde. Das ist sicher nicht die eleganteste Lösung, aber sie funktioniert!

Der Ziffernblock kann so verbunden werden, wie in Abbildung 5-143. Die Stern-Taste wird immer noch benutzt, um die Stromversorgung einzuschalten, wie im ursprünglichen Experiment. Die Raute-Taste setzt das Relais am Ende der Computerbenutzung wieder zurück, wie zuvor.

Der Strom fließt durch eine Reihe von Widerständen, beginnend mit einem solchen, der einen Wert von 500 Ω hat. Weil dies kein Standardwert ist, musst du ihn entweder durch die Kombination mehrerer Widerstände erzeugen oder einen entsprechend eingestellten Trimmer nehmen. Danach wird jede Taste durch einen 100-Ω-Widerstand mit der nächsten verbunden. Am Ende der Kette trennt ein Widerstand mit 600 Ω die letzte Taste vom Minuspol der Stromquelle. Auch dies ist kein Standardwert und du musst möglicherweise einen Trimmer benutzen.

Wenn du alle Widerstände addierst, ergibt dies 2 kΩ. Dies entspricht der Spannung, die der PICAXE erfordert. Wenn du eine Taste drückst, zapfst du die Widerstandskette an. Die Taste 9 erzeugt 600 Ω zwischen dem ADC-Pin des PICAXE und der Masse. Die Taste 6 hat 700 Ω, die Taste 3 800 Ω usw. (Wenn du magst, kannst du die Tasten auch so anlegen, dass der Widerstand in einer logischen Folge zunimmt. Das überlasse ich dir. Ich habe den Entwurf gewählt, der am einfachsten darstellbar war.)

Du kannst dir noch einmal die ADC-Werte aus der Tabelle auf Seite 306 ansehen. Dies sind die Werte, die du bekommen solltest, wenn du verschiedene Tasten drückst. Du kannst dich aber nicht blind darauf verlassen, weil sie abweichen können, wenn deine Widerstandswerte nicht ganz genau sind. Man kann nicht mit Sicherheit sagen, dass der PICAXE z.B. einen ADC-gewandelten Wert von genau 77 hat, wenn der Widerstand 600 Ω beträgt. Es ist sicherer zu sagen, dass der Wert zwischen 71 und 83 liegen wird. Wenn wir einen Bereich wie in der folgenden Tabelle angeben, haben wir eine größere Chance, dass jede Taste richtig erkannt wird.

Tastennummer	Widerstand	Bereich
9	600	71–83
6	700	84–96
3	800	97–108
0	900	109–121
8	1000	122–134
5	1100	135–147
2	1200	148–160
7	1300	161–172
4	1400	173–185
1	1500	191–198

Schließe den gemeinsamen Anschluss deines Ziffernblocks an den ADC-Logikpin 2 des PICAXE an. Du kannst jetzt im Editor ein Programm schreiben, das wie folgt aussieht:

```
getkey:
    readadc 2,b0
    let b1 = 9
    if b0 < 84 then finish
    let b1 = 6
    if b0 < 97 then finish
    let b1 = 3
    if b0 < 109 then finish
    let b1 = 0
    if b0 < 122 then finish
    let b1 = 8
    if b0 < 135 then finish
    let b1 = 5
    if b0 < 148 then finish
    let b1 = 2
    if b0 < 161 then finish
    let b1 = 7
    if b0 < 173 then finish
    let b1 = 4
    if b0 < 186 then finish
    let b1 = 2

finish:
    return
```

Was macht das Wort »return« (Rücksprung) am Ende? Dazu komme ich gleich. Ich will erst noch den Rest der Programmroutine erläutern.

b0 erhält den Wert vom Analog-Digital-Konverter, der den Ziffernblock ausliest. Nachdem die Zahl in b0 gespeichtert wurde, muss die Routine herausfinden, zu welcher Taste auf dem Ziffernblock sie gehört. Die Identität der Taste wird in einer anderen Variable gespeichert, b1.

Das Programm beginnt damit, b1 den Wert 9 zuzuweisen. Dann überprüft es, ob b0 < 84. »Falls b0 kleiner ist als 84« Gibt die Routine die Anweisung »finish« (Ende) an den PICAXE, was bedeutet »springe zur Markierung ›finish‹«. Wenn aber b0 nicht kleiner als 84 ist, führt der PICAXE automatisch in der nächsten Zeile fort, die einen weiteren Versuch unternimmt, zu ermitteln, welche Taste gedrückt wurde. Sie weist b1 die Zahl 6 zu. Dann folgt noch ein if-then-Test (wenn…dann-Test) und so weiter. Dieser Vorgang der Neuzuweisung von Werten für b1 wird nur dann beendet, wenn das Programm an die Stelle kommt, an der b0 größer als eine Nummer aus der Tabelle ist.

Wenn du andere BASIC-Dialekte kennst, kommt dir das vielleicht etwas aufwändig vor. Du fragst dich vielleicht, warum wir keinen Befehl der folgenden Art verwenden können:

```
if b0 > 70 and b0 < 84 then b1 = 9
```

Die Antwort ist die, dass das BASIC des PICAXE so weit entwickelt ist, um dies zu ermöglichen. Eine if-then-Anweisung kann immer nur mit einem Sprung in einen anderen Programmabschnitt enden. Das ist das einzig zulässige Resultat.

Wenn du bisher noch keine Programmiererfahrung hast, kommt dir die Programmroutine vielleicht trotzdem etwas aufwändig und auch etwas verwirrend vor. Das ist verständlich, weil du hier einen Crashkurs in Softwaredesign ohne eine richtige Vorbereitung verpasst bekommst. Trotzdem kann der Programming Editor des PICAXE eine große Hilfe sein, weil er die Simulations-Funktion besitzt. Bevor du diese benutzen kannst, musst du vor die Routine, die ich gerade beschrieben habe, noch eine Steuerroutine setzen. Der Screenshot in Abbildung 5-144 zeigt dir, wie es aussehen sollte.

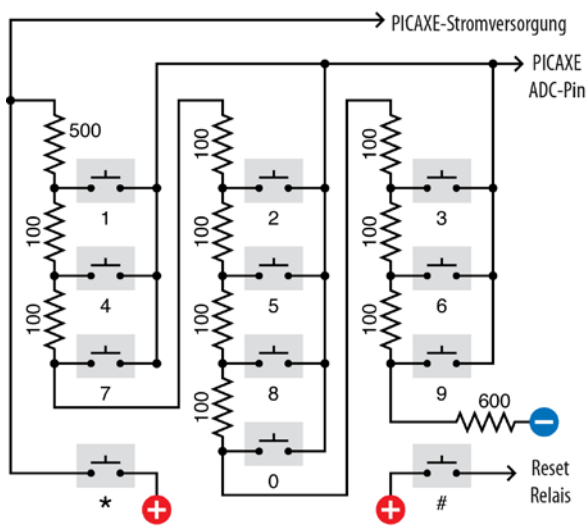


Abbildung 5-143. *Um schnell und einfach einen Ziffernblock an den PIXAXE anzuschließen, benutzt man eine Kette von Widerständen, die insgesamt 2000 Ω ergeben. Wenn eine Taste gedrückt wird, verbindet er den ADC-Eingangspin mit einem Punkt in der Kette. Der Widerstand, der am Eingangspin anliegt, kann dann vom Programm im Chip umgewandelt werden, um herauszufinden, welche Taste gedrückt wurde.*

Ich habe eine zufällige Kombination (7-4-1) für unser Zahlenschloss ausgesucht. Mit diesen Zahlen sieht der Hauptabschnitt des Programms wie folgt aus:

```
main:
    low 1
    gosub getkey
    if b1<>7 then main
    gosub getkey
    if b1<>4 then main
    gosub getkey
    if b1<>1 then main
    high 1
    end
```

Ich sollte erklären, dass »<>« bedeutet »ist nicht gleich«. Also heißt die vierte Zeile des Programms »wenn b1 nicht gleich 7 ist«.

Der Wert von b1 muss 7 sein, wenn der Benutzer die richtige Kombination eingibt. Wenn es also nicht 7 ist, hat der Benutzer den falschen Wert eingegeben und die if-then-Anweisung schickt den PICAXE wieder zurück an den Anfang. Sogar dann, wenn der Benutzer eine richtige Zahl, aber an der falschen Stelle in der Abfolge 7-4-1 eingibt, schickt das Programm den PICAXE immer wieder an den Anfang. So war auch die reine Hardware-Version des Experiments aufgebaut.

Aber was bedeutet das Wort »gosub«? Es bedeutet »go subroutine«, »gehe zu einer Subroutine«. Eine Subroutine ist jede Folge von Befehlen, die mit der Anweisung »return« (Rücksprung) endet. Also weist »gosub getkey« den PICAXE an, sich die aktuelle Stelle im Programm zu merken und dann zum Abschnitt »getkey:« im Code zu springen, den er ausführt, bis er auf das Wort »return« trifft und an die Stelle zurückkehrt, von der er kam.

Der PICAXE fährt auf diese Weise weiter fort, bis er am Wort »end« (Ende) ankommt. Ich musste das Wort »end« einfügen, weil der PICAXE ansonsten das Programm weiter abarbeitet und die Subroutine erreicht. Durch »end« wird er hieran gehindert. Abbildung 5-144 zeigt ein Screenshot des ganzen Programms.

Ist das nun alles? Ja, das ist alles. Wenn du den Code genau so in den Editor eingibst, wie ich ihn hier abgedruckt habe, solltest du ihn im Simulationsmodus laufen lassen können. Klicke im Simulationsfenster auf den Rechtspfeil neben Logikpin A2, um dessen Wert schrittweise zu erhöhen. Jedes Mal, wenn du einen der Werte in der getkey-Subroutine passierst, sollte sich der Wert für die Variable b1 in der Anzeige ändern.

Das ist wirklich alles, was du brauchst, um die Funktionen des Zahlenschlosses umzusetzen. Wenn der PICAXE dieses Programm ablaufen lässt, wartet er auf die richtige Kombination. Wenn er diese Kombination erhält, setzt er den Pegel am Logikpin auf »high«; wenn nicht, bleibt der Pin 1 »low«.

Du braucht nur noch einen Transistor oder ein CMOS-Gatter zwischen Logikpin 1 und dem Relais, das den Computer freischaltet, weil der PICAXE nicht genügend Strom liefern kann, um das Relais selbst zu schalten.

Wenn man das Zahlenschloss mit einen Controllerchip umsetzt, vereinfacht man nicht nur die Schaltung, sondern hat auch noch einen weiteren Vorteil: Man kann die Kombination einfach ändern, indem man das Programm umschreibt und die neue Version in den Chip lädt.

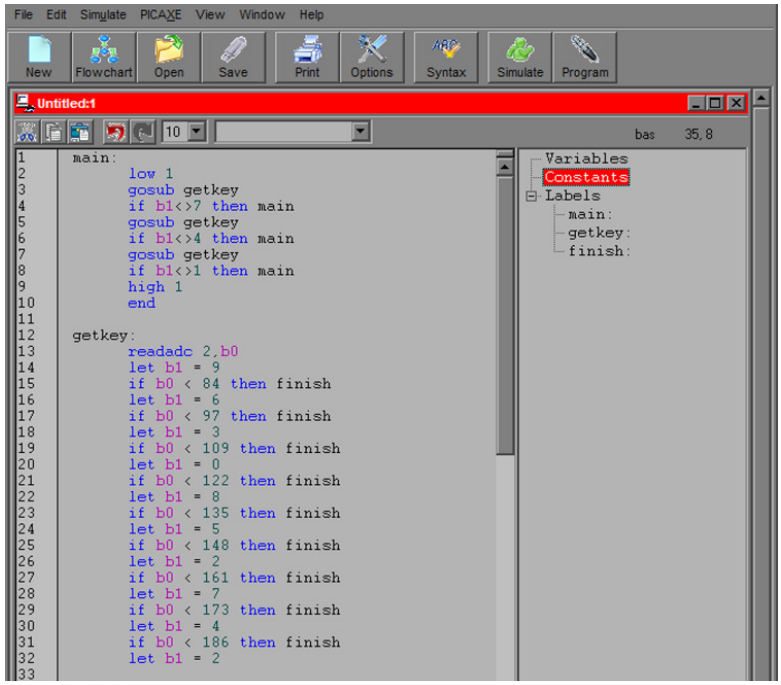


Abbildung 5-144. *Dieses Screenshot zeigt das komplette Programm, um eine Sequenz aus drei Tastenbetätigungen im Rahmen eines Zahlenschlosses zu lesen. Wenn die Tastenfolge korrekt ist, schaltet der PICAXE einen seiner Ausgänge auf »high«. Wenn die Tastenfolge falsch ist, springt das Programm wieder an den Anfang.*

GRUNDLAGEN

Grenzen von Mikrocontrollern

Der PICAXE hat einige Nachteile. Allein die Spannungsvoraussetzungen stellen eine Einschränkung dar, so dass du ihn nicht so variabel wie einen 555-Timer einsetzen kannst.

Wenn ich einen 555-Timer auf ein Steckbrett setze und einige Widerstände und Kondensatoren hinzufüge, kann ich außerdem sofort ein Ergebnis erhalten. Beim PICAXE muss ich erst eine Buchse hinzustecken, eine Verbindung zu meinem PC herstellen, ein Programm im Editor schreiben und das Programm in den Chip laden.

Einige Menschen schreiben auch nicht gerne Software oder haben Schwierigkeiten, auf mit der unnachgiebigen linken Gehirnhälfte zu denken, die man für die Programmierung braucht. Sie bevorzugen vielleicht den manuellen und praktischen Ablauf beim Zusammenbauen von Bauteilen.

Andere Menschen haben sicher genau gegenteilige Vorlieben. Es hängt also vom Geschmack ab, aber eine Sache die wir ohne Zweifel wissen, ist die, dass Computerprogramme oft Fehler enthalten, die sich möglicherweise erst Wochen oder Monate später zeigen.

Der PICAXE schützt dich zum Beispiel nicht davor, Variablen Zahlen zuzuordnen, die die Grenze für diese Art von Variable überschreiten. Stell dir vor, du hast b1=200 und b2=60 und dein Programm weist den PICAXE wie folgt an:

```
let b3 = b1 + b2
```

Das Ergebnis sollte 260 sein, aber Variablen vom Typ Byte können nur bis 255 zählen. Was passiert nun? Du wirst feststellen, dass b3 einen Wert von 4 erhält, ohne Vorwarnung und weitere Erklärung. Dies wird als Überlauf bezeichnet und kann sehr schwer vorherzusehen sein, weil der Fehler während der Laufzeit auftritt, wenn externe Faktoren verarbeitet werden. Der Code sieht gut aus, der Programming Editor findet keine Syntaxfehler, die Simulation verhält sich richtig. Aber in der Realität, ob es nun Tage oder Monate später ist, resultiert ein unerwartetes Zusammentreffen von Umständen in einer Eingabe, die den Überlauf verursacht, und weil der Code zu diesem Zeitpunkt nur im Chip existiert, kann es für dich sehr schwer werden, herauszufinden, was da falsch gelaufen ist.

Software hat ihre Probleme. Hardware hat ihre Vorteile.

GRUNDLAGEN

Unerschlossene Gebiete

Wenn du dir die Zeit nehmen konntest, die meisten Projekte aus diesem Buch abzuschließen, wirst du eine sehr intensive und schnelle Einführung in die grundlegenden Bereiche der Elektronik erhalten haben.

Hat dir etwas gefehlt? Im Folgenden habe ich einige Themen aufgelistet, die es immer noch zu erforschen gilt. Du solltest natürlich entsprechend im Internet suchen, wenn sie dich interessieren.

Dieser lockere »Lernen durch Entdecken«-Ansatz, den ich in diesem Buch verwendet habe, ist eher frei von theoretischen Ausflügen. Mathematische Erklärungen, die man wahrscheinlich in anderen, strengeren Abhandlungen über dieses Thema finden würde, habe ich meistens vermieden. Wenn du mathematisch begabt bist, kannst du dieses Wissen natürlich verwenden, um einen tieferen Einblick in die Funktion von Schaltkreisen zu bekommen.

Ich habe auch nicht viel über Computerarchitekturen gesagt. Wir sind nicht besonders tief in den Binärcode eingestiegen, und du hast auch keinen Halbaddierer gebaut, der eine großartige Möglichkeit bietet, fundamentales Wissen über die Funktionsweise eines Computers zu erwerben. Vielleicht solltest du daher den Zusammenbau eines solchen als nächstes Experiment erwägen.

Ich habe es auch vermieden, tief in die durchaus faszinierende und mysteriöse Welt des Wechselstroms einzutauchen. Dazu wären auch wieder sehr viele mathematischen Erklärungen notwendig, aber allein das Verhalten von Strom bei hohen Frequenzen wäre z.B. schon ein interessantes weiterführendes Thema für sich.

Aus bereits genannten Gründen habe ich außerdem das Thema SMD-Bauteile ausgeklammert – aber mit relativ wenig Aufwand kann man sich auch in dieses Thema einarbeiten, wenn man gerne winzig kleine Geräte zusammenbauen will. Dies könnte auch die Zukunft der Hobby-Elektronik sein. Wenn du dran bleibst, wirst du vermutlich schnell ein Experte auf diesem Gebiet.

Vakuumröhren habe ich nicht erwähnt, weil sie an dieser Stelle hauptsächlich von historischem Belang sind. Aber zugegebenermaßen haben diese Röhren etwas sehr Spezielles und Faszinierendes, besonders wenn man sie in schicken, selbstgebauten Gehäusen verwendet. Wenn man handwerkliches Geschick besitzt, können Röhrenverstärker und Radios geradezu zu Kunstobjekten werden.

Ich habe dir auch nicht gezeigt, wie man seine eigenen gedruckten Platinen ätzt. Das mag sicher für einige Leute interessant sein. In der Vorbereitung dazu muss man sehr genaue Zeichnungen machen oder Computer-Software haben, die dies für einen erledigt. Wenn du auf die entsprechenden Ressourcen zugreifen kannst, möchtest du wahrscheinlich auch selber ätzen. Das könnte sogar ein erster Schritt in Richtung Massenproduktion deiner eigenen Geräte sein.

Außerdem habe überhaupt nichts zum das Thema der statischen Elektrizität gebracht. Hochspannungsfunken haben keine praktische Bedeutung und sie sind sicherheitstechnisch problematisch. Zweifelsohne sind sie aber ziemlich beeindruckend. Die zum Bau entsprechender Geräte notwendigen Informationen kann man relativ einfach erhalten. Vielleicht solltest du das mal ausprobieren.

Andere Controller

Wenn du etwas leistungsfähigeres brauchst, wäre eine BASIC-Stamp der nächste logische Schritt nach dem PICAXE. Die BASIC Stamp heißt so, weil sie ursprünglich wie eine Briefmarke (engl. stamp) aussah. Die BASIC Stamp hat ein größeres Vokabular von Befehlen und eine größere Reihe von Zusatzmodulen (u.a. Displays mit Grafikfähigkeiten und eine kleine Tastatur, die extra für den Gebrauch mit dem Controller gedacht ist). Die BASIC Stamp ist in Abbildung 5-145 zu sehen.

Ein Nachteil ist der, dass alles, was mit der BASIC Stamp zu tun hat, etwas teurer ist als beim PICAXE. Es ist auch nicht ganz so einfach, Programme darauf zu speichern.

Eine der neueren Entwicklungen in der Welt der Mikrocontroller ist der Arduino, der sowohl anspruchsvoll also auch leistungsstark ist. Er wird aber in einer Sprache programmiert, die C sehr ähnlich ist. Diese Sprache ist etwas schwieriger zu verstehen und hat keine große Ähnlichkeit mit der Syntax, die bei PICAXE und BASIC Stamp zum Einsatz kommt. Andererseits, ist es vielleicht keine so schlechte Idee, C zu lernen, weil die Sprache überall im Computerbereich eingesetzt wird und der Arduino einige beeindruckende Fähigkeiten besitzt. Weil er so beliebt ist, gibt es auch viele Entwicklungssysteme, Anleitungen, Benutzerforen und viele enthusiastische Benutzer, die dir helfen können. Zwei andere Bücher aus der Make-Reihe, die ich schon erwähnt habe, *Getting Started with Arduino und Making Things Talk*, bietet eine großartige Einführung.

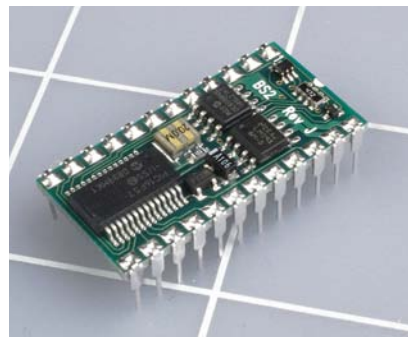


Abbildung 5-145. *Der BASIC-Stamp-Mikrocontroller besteht aus SMD-Bauteilen, die auf einer Platine aufgebaut sind, die Pins im Abstand von 0,1 Zoll hat, so dass sie auf ein Steckbrett oder eine Lochrasterplatine passen. Dieses Modul nutzt eine Version von BASIC, die der Programmiersprache des PICAXE ähnelt, aber viele Erweiterungen hat. Die BASIC-Stamp kann mit einer Vielzahl von Zusatzgeräten benutzt werden, inklusive vieler alphanumerischer Punktmatrix-Displays.*

Schlussworte

Ich glaube, dass der Zweck eines Einführungsbuches der ist, dass du einen Einblick in einen breites Spektrum von Möglichkeiten bekommst und dann selbst entscheiden kannst, was du als nächstes entdecken willst. Der Elektronikbereich ist ideal für diejenigen unter uns, die Dinge gerne selber machen, weil fast jede Anwendung – von der Robotik über ferngesteuerte Flugzeuge und von der Telekommunikation bis zu Computerhardware – Möglichkeiten eröffnet, die wir zuhause mit begrenzten Mitteln erforschen können.

Wenn du dich eingehender mit den Bereichen der Elektronik beschäftigst, die dich am meisten interessieren, bin ich mir sicher, dass du eine befriedigende Lernerfahrung haben wirst. Ich hoffe jedoch vor allem, dass du dabei viel Spaß hast.

Händlerliste

Du kannst die meisten der im Buch aufgeführten Elektronikteile bei einem der in der unten stehenden Liste aufgeführten Händler bestellen bzw. direkt kaufen:

Händler	Website
bausteln	*www.bausteln.de*
SEGOR-electronics GmbH Kaiserin-Augusta-Allee 94 10589 Berlin	*www.segor.de*
Watterott electronic Winkelstr. 12a 37327 Hausen	*www.watterott.com*

www.watterott.com

Your Arduino and DIY Source

Danksagung

Mark Frauenfelder brachte mich erstmalig mit dem Make-Magazin in Berührung, als er mich fragte, ob ich dafür schreiben wollte. Ich bin ihm immer dankbar für seine Unterstützung meiner Arbeit. Über ihn kam der Kontakt zu der hochgradig fähigen Produktions-Crew bei MAKE zustande. Es war schließlich Gareth Branwyn, der vorschlug, ich solle eine Einführung in Elektronik schreiben. Ich bin ihm zu Dank verpflichtet, dass er das Projekt initiiert hat und es als Lektor begleitet hat. Nachdem ich einen ersten Entwurf erstellt hatte, in dem ich meine Idee von »Lernen durch Entdecken« darlegte und dabei ausführte, dass das Kaputtmachen von Dingen didaktisch sinnvoll sein kann, sprach der MAKE-Herausgeber Dale Dougherty den bemerkenswerten Satz »Dieses Buch möchte ich haben!« Für sein Vertrauen in meine Fähigkeiten möchte ich Dale herzlich danken. Dan Woods, sein Co-Herausgeber, unterstützte mich ebenfalls nach allen Kräften.

Der Erstellungsprozess war flink, kompetent und schmerzfrei. Dafür habe ich meinem Lektor bei O'Reilly, Brian Jepson, zu danken; des weiteren der Herstellerin Rachel Monaghan, der Lektorin Nancy Kotary, der Korrekturleserin Nancy Reinhardt, der Index-Erstellerin Julie Hawks sowie den Illustratoren Ron Bilodeau und Robert Romano. Am meisten habe ich dem Fachgutachter Bunnie Huang zu danken, der meinen Text Satz für Satz überprüft hat und der viel mehr weiß als ich. Jeder noch auffindbare Fehler stammt von mir, auch wenn ich ihn gern Bunnie in die Schuhe schieben möchte. Dank auch an Matt Mets, Becky Stern, Collin Cunningham, Marc de Vinck, Phillip Torrone, Limor Fried, John Edgar Park, John Baichtal und Jonathan Wolfe für ihre Hilfe in Form von Last-Minute-Tests.

Zuletzt habe ich die Genialität von John Warnock und Charles Geschke, des Gründers von Adobe Systems und des Entwicklers der wunderschönen PostScript-Sprache, hervorzuheben, die das Publizieren revolutioniert haben. Der Gedanke ist schwer erträglich, dieses Buch mit anderen Publikationswerkzeugen von … einigen anderen Firmen … zu erstellen: unvorstellbar. Wirklich, ohne Illustrator, Photoshop, Acrobat und InDesign hätte ich dieses Buch vermutlich nie geschrieben. Ich bin ebenfalls für die Canon 1Ds mit 100mm Makrolinse dankbar, mit der viele Fotos in diesem Buch gemacht wurden. Es wurde kein freies Material oder sonstige Texte verwendet, außer zwei weitere MAKE-Bücher, die ich gelesen habe, um sicherzugehen, dass ich nichts veröffentliche, was bereits vorher schon gesagt wurde.

Index

Symbole

2N2222-Transistor 73
  siehe auch Experimente 11 und 15
2N6027 Programmierbarer Unijunction-Transistor *siehe auch* Experiment 14: Ein pulsierendes Glühen
9-Volt-Batterie 5
40xxB-Chip 189
40xx-Chip 189
74ACTxx-Chip 189
74ACxx-Chip 189
74AHCTxx-Chip 189
74AHCxx-Chip 189
74HC00-Chip *siehe* Experiment 22: Kippen und Prellen
74HC00 Quad 2-input NAND-Chip *siehe* Experiment 19: Logik lernen
74HC02-Logikchip *siehe* Experiment 22: Kippen und Prellen
74HC04-Chip 147
74HC08 Quad 2-input AND-Chip *siehe* Experimente 19 und 20
74HC32-Chip *siehe* Experiment 21: Einer wird gewinnen
74HCTxx-Chip 189
74HCxx-Chip 189
74LS06 Open-Kollektor-Inverter-Chip 148
74LS27-Chip *siehe* Experiment 23: Elektronische Würfel
74LS27 dreifacher-NOR-Chip 148
74LS92-Chip 212
  siehe Experiment 23: Elektronische Würfel
74LS92-Zähler-Chip 148
74LVxx-Chip 189
555-Timer-Chip 148
  siehe auch Experimente 16-24, 29, 32-33
  astabiler Modus 162
  bistabiler Modus 174
  Einschalten im bistabilen Modus 223
  Frequenz im astabilen Modus 164
  Geschichte 158
  Grenzen 159
  Impulsdauer 155
  monostabiler Modus 155
  Rechteckwelle 253
  Reset-Spannung 154
  Tonfrequenzen 251
  Trigger-Spannung 154
  Verwendungszweck 159
  Wechselstrom 243
4026-Chip 148
  siehe auch Experiment 18: Reaktions-Timer
7400er-Familie von integrierten Schaltkreisen 190

A

Abisolierzange 40
ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol)
  zurechtschneiden 265
    siehe auch Experiment 32: Ein kleiner Roboterwagen
Alarmanlage *siehe* Experimente 11, 15 und 24
  Installation 142
  Überwachung *siehe* Experimente 11, 15 und 24
Alarmanlagenschaltung 132
Alarmsirene 91
All Electronics 42
  Batteriehalter und -anschlüsse 3
  Entlötlitze 98
  Entlötpumpe 98
  Gehäuse 102
  Krokodilklemmen 4
  Lötkolbenständer 98
  Lötzinn 100
  Schalter 42
  Verbindungskabel 41
  Ziffernblock mit 12 Tasten 149
All Spectrum Electronics
  LEDs 4
Allzwecklötkolben
  30 bis 40 Watt 96
Alpha Potentiometer 4
Amazon
  Elektroniklötzinn 100
Ampere 11, 36

Ampère, André-Marie 13
Anfänge programmierbarer Chips 288
Ansprechspannung 58–59
Arbeitsplatz einrichten 230
  Beschriftung 229
  Computer 229
  Oszilloskop 229
  Werkbank 229
Arduino
  Mikrocontroller 225
ArtCity
  Kleine Handsäge 99
Audioverstärker *siehe* Experiment 29: Frequenzen filtern
Ausgerechnet: Deine Zunge 30
automatische Abisolierzange 40
AutoZone
  Sicherungen 4

B

Bananenstecker 97
Bardeen, John 78
BASIC-Stamp Mikrocontroller 311
Batteriehalter und -anschlüsse 3
Batterielaufzeiten 120
Batterien 3
  9-Volt 5
  Erfinder 12
  Gleich- und Wechselstrom 12
  Grundlagen der Spannung 11
    siehe auch Experiment 1: Ein kleiner Vorgeschmack
  Grundlagen der Stromstärke 11
  Hitze 10
  Lithium 9, 30
  missbrauchen *siehe* Experiment 2: Wir missbrauchen eine Batterie
  Schaltplan 53
  selbst bauen *siehe* Experiment 5: Wir bauen uns eine Batterie
  Spannung 10
  Strom 10
Bell, Alexander Graham 238
Beschriftung 228
Betriebsstrom 58
Biegegeräte 267
Binärcode 212
Binärrechnung 212
bipolare Elektrolyt-kondensatoren 244
BI Technologies
  Potentiometer 4
BK Precision
  Multimeter 2
Blitzeinschlag 35
Boole, George 182
Boolische Logik 182, 184
Brattain, Walter 78
Buchsen 49
Burkard, Johann 256
Buzbee, Bill 190

C

Camenzind, Hans 158
Chips 145
  74HC00 *siehe* Experiment 22: Kippen und Prellen
  74HC00 Quad 2-input NAND *siehe* Experiment 19: Logik lernen
  74HC02 *siehe* Experiment 22: Kippen und Prellen
  74HC04 *siehe* Experiment 20: Eine starke Kombination
  74HC08 Quad 2-input AND-Chip *siehe* Experimente 19 und 20
  74HC32 *siehe* Experiment 21: Einer wird gewinnen
  74LS06 Open-Kollektor-Inverter-Chip 148
  74LS27 *siehe* Experiment 23: Elektronische Würfel
  74LS27 dreifacher NOR-Chip 148
  74LS92 *siehe* Experiment 23: Elektronische Würfel
  74LS92 Zählerchip 148
  555-Timer *siehe* 555-Timer-Chip
  4026 148
    siehe auch Experiment 18: Reaktions-Timer
  Anfänge programmierbarer Chips 287
  Auswahl 146
  Geschichte 150
  Logik-Chips 148
  oft verwendete Teile 191
  schwebenden Pins 173
  Stromversorgung 152
Churchill, Sir Winston 29
Clipping 252
CMOS-Chips, schwebenden Pins 173
Common-Buchse (COM) 5–6
Complementary metal-oxide semiconductor (CMOS) 188
Computer 229
  Magneten 235
Controller-Chips
  Anfänge programmierbarer Chips 287
    siehe auch Experiment 34: Hardware trifft auf Software
  Grenzen 309
Coulomb 36

D

Datenblatt eines Herstellers 26
Davies, Ray 255
DeArmond, Harry 255
Dellepiane, Flavio 255
DeWalt XRP Stichsäge 266
Dioden 103, 131
  Kondensatoren 235
  Schaltzeichen 131
Drähte 100
  Löten *siehe* Experiment 12: Zwei Drähte miteinander verbinden
  Schaltzeichen 52
Drähten
  Spannungsverbrauch 27
Drehmoment 264
Drehregler 227
Dritte Hand 96
Drucktaster 149

E

Effektgeräte, die ersten 255
Ein-/Ausschalter 46
einpoliger Schalter 42
einpoliger Schalter (SPST) 46

einpoliger Umschalter (SPDT) 46
Einschätzen der Leistung 31
Elektrizität
  Das Wesen der 33
  Magnetismus, Verhältnis 231
  Schall umwandeln in 239
Elektrolytkondensatoren 61
Elektromagnet *siehe* Experiment 25: Magnetismus
Elektromagnetismus, der Vater des 13
Elektronik-Lötzinn 100
Endschalter 273
Entgratwerkzeug 99, 266
Entlötlitze 98
Entlötpumpe 98
Essentials
  Alles über Dioden 131
  Alles über NPN- und PNP-Transistoren 76
  Alles über programmierbare Unijunctiontransistoren 83
  Batterielaufzeiten 120
  Die Grundlagen von Logikgattern 184
  Fehlersuche in der Praxis 136
  Löten auf der Lochrasterplatine 134
  Transistoren und Relais 79
Everlight
  Low-Power-LEDs 148
Experiment 1: Ein kleiner Vorgeschmack 5–9
  Ablauf 7
  Aufräumen und Weiterverwendung 9
  Weitere Untersuchungen 8
  Werkzeuge 5
Experiment 2: Wir missbrauchen eine Batterie 9–13
  Ablauf 9
  Aufräumen und Weiterverwendung 13
Experiment 3: Dein erster Stromkreis 13
  Aufbau 13
  Aufräumen und Weiterverwendung 17
  Eine LED leuchten lassen 16
Experiment 4: Die Spannung verändern 18
  Aufräumen und Weiterverwendung 29
  Das Ohmsche Gesetz anwenden 26
  Die Leuchtdiode dimmen 19
  Ein Blick ins Potentiometer 18
  Miss den Stromfluss 21
  Wie groß muss der Widerstand für eine LED sein? 28
  Wie man ein Datenblatt liest 26
Experiment 5: Wir bauen uns eine Batterie 32
  Aufräumen und Weiterverwendung 34
  In der Praxis 37
Experiment 6: Ganz einfaches Schalten 43
  Ausprobieren 45
  Einführung in Schaltpläne 50
  Verbindungsprobleme 45
  Werkzeuge 44
Experiment 7: LED mit einem Relais schalten 55
  Ablauf 59
  Bereite dein Netzteil vor 55
  Das Relais 56
  So funktioniert es 59
Experiment 8: Ein Relais-Oszillator 60
  Elektrische Kapazität hinzufügen 61
  Umbau der Schaltung auf ein Steckbrett 65
Experiment 9: Zeit und Kondensatoren 68
  Spannung, Widerstand und Kapazität 69
Experiment 10: Transistor-Schalter 73
  Schalten mit der Fingerspitze 74
Experiment 11: Ein modulares Projekt 82
  Den Wunschzettel umsetzen 93
  Impulsartiges Ausgangssignal 90
  Langsame Oszillation 85
  Schneller als die Augenträgheit 86
  Verbesserungen 92
  Verstärkung 87
Experiment 12: Zwei Drähte miteinander verbinden 104
  Deine erste Lötstelle 104
  Deine zweite Lötstelle 108
  Die Stelle isolieren 110
Experiment 13: Brate eine LED 111
  Regeln für Kühlkörper 112
Experiment 14: Ein pulsierendes Glühen 114
  Die Arbeit abschließen 118
    siehe auch Experiment 14: Ein pulsierendes Glühen
  Die Schaltung verkleinern 116
  Schritt für Schritt 117
Experiment 15: Zurück zur Alarmanlage 124
  Bereit für die Platine 133
  Böse Spannungen blockieren 129
  Das selbsthaltende Relais 128
  Der letzte Test 142
  Die Schalter montieren 139
  Die Schalter verlöten 140
  Diese Transistorschaltung öffnet, um zu schließen 126
  Fertigstellung der Alarmschaltung auf dem Steckbrett 132
  Installation der Alarmanlage 142
  Magnetkontaktschalter 125
  Schalter und Eingänge für die Alarmanlage 137
  Zusammenfassung 143
Experiment 16: Erzeugen eines Impulses 151
  Ablauf 151
Experiment 17: Selbst erzeugte Töne 160
  Ablauf 160
  Astabile Abwandlungen 164
  Chips miteinander verbinden 165
Experiment 18: Reaktions-Timer 168
  Das Display 168
  Die Verzögerung 176
  Einsatz des Reflextesters 177
  Impulse erzeugen 173

Verbesserungen 178
Verfeinerungen 174
Zählen 169
Zusammenfassung 179
Experiment 19: Logik lernen 179
Experiment 20: Eine starke Kombination 195
Aufbau auf dem Steckbrett 199
Der Schaltplan 196
Ein kleines Detail: Das Computer-Interface 200
Falscheingabe 198
Fragen 198
Verbesserungen 202
Experiment 21: Einer wird gewinnen 203
Aufbau auf dem Steckbrett 207
Das Ziel 203
Ein Konzeptexperiment 203
Verbesserungen 208
Experiment 22: Kippen und Prellen 209
So funktioniert es 210
Experiment 23: Elektronische Würfel 212
Binäre Anzeigen 212
Verbesserungen 218
Experiment 24: Die Alarmanlage wird fertiggestellt 221
Alles unter Dach und Fach 224
Deaktivieren mit dem Ziffernblock 221
Verzögerte Aktivierung 221
Verzögerung vor der Deaktivierung 223
Experiment 25: Magnetismus 231
Ablauf 231
Experiment 26: Stromerzeugung auf dem Tisch 234
Ablauf 234
Experiment 27: Lautsprecher-Zerstörung 237
Ablauf 237
Experiment 28: So reagiert eine Spule 241
Ablauf 241
Experiment 29: Frequenzen filtern 244
Ablauf 245
Frequenzweichen 248
Hinzufügen des Verstärkers 245
Experiment 30: Fuzz 252
Schaltplan 253
Experiment 31: Ein Radio, kein Lötzinn, kein Strom 257
Verbesserungen 260
Experiment 32: Ein kleiner Roboterwagen 263
Bau deinen Wagen zusammen 269
Biegen 267
Die Schaltung 271
Formen aussägen 266
Hebelkraft 276
Konstruktionspläne zeichnen 267
Rechtwinklige Verbindungen herstellen 268
Experiment 33: Fortbewegung schrittweise 278
Aufbau deines Lichtsuchroboters 285
Der Wagen wird eigenständig 285
Eine schnelle Demonstration 280
Einstellen der Geschwindigkeit 284
Erforsche deinen Motor 279
Experiment 34: Hardware trifft auf Software 287
Bearbeiten 297
Dein erstes Programm 295
Der USB-Treiber 290
Die Software »Programming Editor« 291
Hardware-Aufbau 292
Installieren und einrichten der Software 290
Schleifen 298
Simulation 297
Überprüfen der Verbindung 294
Verbrauchsmaterialien 289
Was der Code bedeutet 296
Was ist, wenn das nicht funktioniert? 294
Experiment 35: Verbindung zur Umwelt 300
Ablauf 300
Experiment 36: Noch einmal zum Schloss 305
Andere Controller 311
Einlesen der Benutzereingabe 305

F

Faraday, Michael 64
Farad-Grundwissen 61
Fehlersuche 136
Feinlötkolben mit 15 Watt 96
flache Lagerboxen 227
Formose, Dan 256
Fotowiderstände *siehe* Experiment 33: Fortbewegung schrittweise
Franklin, Benjamin 35
Frequenzen *siehe* Experiment 29: Frequenzen filtern
Frequenzweiche 248
Fujitsu
Relais 42
Funken 48
Funk, so funktioniert 261
Fuzz Box 252

G

Galvanometer 13
gegenseitige Abstoßung 33
Gehäuse 102
Geräte mit Funktechnik 225
Gewindeschrauben 102
Gibson Maestro Fuzz-Tone 255
Gleichstrom 12
Gleichstrom-Bürstenmotor 275
Gleichstrom (DC) 12
Gleichstrom-Schrittmotor 275
Glühbirne 53
Grundlagen
555-Timerchip-Frequency im astabilen Modus 164

555-Timerchip-Impulsdauer im monostabilen Modus 155
Alles über ABS 264
Alles über Elektromotoren 275
Alles über Endschalter 273
Alles über Lochrasterplatinen 113
Alles über Schalter 46–48
Chips auswählen 146
Der bistabile 555-Timer 175
Die wichtigsten Schaltzeichen 51–53
Eine zweiseitige Beziehung 231
Farad-Grundwissen 61
Gleich- und Wechselstrom 12
Grenzen des 555-Timers 159
Grenzen von Mikrocontrollern 309
Grundlagen Leistung 31
Grundlagen Spannung 11
Grundlagen Stromstärke 11
Grundlegende PICAXE-Parameter 299
Im Inneren eines Relais 58–59
Kondensator-Grundwissen 62
Nachkommastellen 29
Oft benutzte Logikchips 191
Ohm 6–7
Ohmsches Gesetz 25–26
PICAXE 08M Zusatz-Fähigkeiten 304
Regeln zur Verbindung von Logikgattern 192
Reihen- und Parallelschaltung 25
Rückprall 173
Schaltzeichen und Grundlagen von Spulen 233
Spannungsregler 180
Unerschlossene Gebiete 310
Warum der 555 so nützlich ist 159
Widerstände dekodieren 14–15
Wo man ABS bekommen kann 264
Zähler und Sieben-Segment-Anzeigen 171

H

Haftrelais 149
Handwerkszeug
  Die vier häufigsten Fehler bei der Arbeit mit Platinen 135
  Entlöten 109
Heißluftpistole 98
  Warnung 110
helfende Hand 96
Henry, Joseph 232, 233
Hintergrund
  Woher die Leistung kommt 28
Hintergrundwissen
  Clipping 252
  Der Erfinder der Batterie 12
  Der Mann, der den Widerstand entdeckte 8
  Der Vater des Elektromagnetismus 13
  Die Anfänge des Transistors 78
  Die Entstehung der Lautsprecher 238
  Die ersten Effektgeräte 255
  Die Ursprünge von Logikgattern 190
  Die Ursprünge von programmierbaren Chips 288
  Die verwirrende Welt von TTL und CMOS 188
  Frühe Schaltsysteme 49
  Joseph Henry 233
  Lautsprechereinbau 87
  Löt-Legenden 106
  Messen macht verrückt 121
  Michael Faraday und Kondensatoren 64
  Positiv und negativ 35
  Von Boole zu Shannon 182
  Warum wurde deine Zunge nicht heiß? 10
  Wie der Timer entstanden ist 158
  Wie die Chips enstanden 150
  Wie viel Spannung verbraucht ein Draht? 27
Hitze 10
Hochspannung 259
Hochtöner 248

I

IC-Fassungen 148
Induktion 232, 241
  Selbstinduktivität 241
Induktivität 26
Integrierte Schaltungen *siehe* Chips
Interface 200
isolierte Polklemmen 103

J

Joule 36

K

Kabel 5
Kaltschweißen 106
Kapazität 3, 39, 64, 86, 130, 155, 178, 241, 244, 247, 257
  Farad 61
Kellogg, Edward 238
Keramische Kondensatoren 43
Kilby, Jack 150
Kinks 255
Kippschalter 42
  Arten von Schaltern und Tastern 47
Klangverzerrung *siehe* Experiment 30: Fuzz
Kleine Handsäge 99
Kleiner Schraubstock 99
Kondensatoren 42, 61
  siehe auch Experiment 8: Ein Relais-Oszillator
  bipolare Elektrolytkondensatoren 244
  Dioden 235
  einen Schlag bekommen 62
  Faraday, Michael 64
  Grundlagen 62
  Polarität 63
  Zeitkonstante 71
  Zeit und *siehe* Experiment 9: Zeit und Kondensatoren
Krokodilklemmen 4
  Kupfer 101
Kühlkörper 112

Kunststoffbiegemaschine 267
Kurzschlüsse 9

L

Lagerboxen 227
Lautsprecher 43, 103
  Montage 87
  Schall in Strom umwandeln 239
    siehe auch Experimente 17, 27 und 29
  Ursprünge 238
  Verstärkung 87
LED mit einem Relais schalten
    siehe Experiment 7: LED mit einem Relais schalten
LEDs 4
  Berechnung des Vorwiderstands 28
  dimmen 19
  einschalten 16
  Low-Power 148
  pulsieren *siehe* Experiment 14: Ein pulsierendes Glühen
  Schaltzeichen 53–54
Leistung
  Geschichte 28
Leiter 6–7
Lithiumbatterien 9, 30
LM7805-Spannungsregler *siehe* Experiment 19: Logik lernen
Lochrasterplatinen 101, 113, 133
  häufigste Fehler 135
  Löten 134
Logik-Chips 148
Logik-Gatter
  Grundlagen 184
  Regeln zur Verbindung 192
    siehe auch Experimente 19-24
  Ursprünge 190
Löten *siehe* Experiment 12: Zwei Drähte miteinander verbinden
  Alternativen 106
  Entlöten 109
  Fehler 107
  Legende 106
  Schalter 139
  Theorie 109
Lötkolben 96
  Warnung 104
Lötkolbenständer 98
Lötzinn 100
Lumineszensdioden *siehe* LEDs
Lupe 97

M

Magnete *siehe auch* Experimente 25 und 26
Magnetismus erzeugt Strom *siehe auch* Experiment 26: Stromerzeugung auf dem Tisch
Magnetismus und Elektrizität, Verhältnis 231
Magnetkontaktschalter 125
Marconi, Guglielmo 261
MCUs *siehe* Experiment 34: Hardware trifft auf Software
  Anfänge programmierbarer Chips 287
messen 36
Messen
  in Zoll 121
  Umrechnungstabelle 121
Messschieber 99
metrisches System 121
Mikrocontroller 225, 287
  PICAXE *siehe* PICAXE
Mikrofarad 61
Mini-Schraubenzieher 98
Mitutoyo
  Messschieber 100
Motoren 225, 275
  Schrittmotoren *siehe* Experiment 33: Fortbewegung schrittweise
Motorola
  Transistor 42
Mouser Electronics
  Batteriehalter und -anschlüsse 3
  Potentiometer 4
Mueller Krokodilklemmen 101
Multimeter 2
Musikelektronik 225

N

Nachkommastellen 29
NAND-Gatter *siehe* Experimente 19-24
Nanofarad 61
negative Ladung 35
Neodym-Magnet 234–235
Newton 36
Nichtleiter 6–7
NOR-Gatter 210
Noyce, Robert 150
NPN- und PNP-Transistoren 76, 79, 253

O

Ohm, Georg Simon 8
Ohmsches Gesetz 25–26, 30, 277
Ohrhörer mir hoher Impedanz *siehe* Experiment 31: Ein Radio, kein Lötzinn, kein Strom
Omron
  Relais 42
On Semiconductor
  Transistor 42
Open-Kollektor-Inverter 212
Open-Kollektor-Inverter-Chip 148
Oszillator, Relais *siehe* Experiment 8: Ein Relais-Oszillator
Oszilloskop 229

P

PICAXE 225
  alphanumerische Ein-/Ausgabe 304
  Anfänge programmierbarer Chips 288
  Grenzen 309
  Infrarot 304
  Interrupts 304
  Musik 304
  Servos 304
  Tongenerator *siehe auch* Experimente 34-36

Pikofarad 61
PNP-Transistoren *siehe* NPN- und PNP-Transistoren
positive Ladung 35
Potentiometer 4, 42, 149, 227, 244
siehe auch Experimente 4, 32 und 35
Schaltzeichen 53
Prellen bei Schaltern 173
Programmable Intelligent Computer (PIC) 288
Programmable Interface Controller (PIC) 288
Programmierbare Mikrocontroller 225
PUTs (programmierbaren Unijunctiontransistoren) *siehe auch* Experimente 11 und 14
2N6027 *siehe* Experiment 14: Ein pulsierendes Glühen
Schaltzeichen 83

R

RadioShack
anklemmbare Prüfspitzen 97
Batteriehalter und -anschlüsse 3
Entlötlitze 98
Gehäuse 102
helfende Hand 96
Krokodilklemmen 4, 101
Lautsprecher 43
LEDs 4
Lochrasterplatinen 101
Lötkolben 96
Lötzinn 100
Lupe 97
Potentiometer 42
Schaltdraht 41
Schrumpfschlauch 101
Sicherungen 4
Steckbrett 39
Transistor 42
Universalnetzteil 39
Widerstände 4
Reaktanz 241
Rechteckwelle 253
Relais 42, 56
Ansprechspannung 58
Haftrelais 149
Im Inneren 58
maximaler Schaltstrom 58
neutral 58
selbsthaltendes Relais 128
Spulenspannung 58
Transistoren und 79
Relais-Oszillator *siehe* Experiment 8: Ein Relais-Oszillator
Reset-Spannung 154
Rice, Chester 238
Richards, Keith 255
Robotik 225
siehe Experimente 32 und 33
Rolling Stones 255
rotierende Pins 159

S

Säge, kleine 99
Schall in Strom umwandeln 239
Schaltdraht 41
Schalter 42, 46
Arten von Schaltern und Tastern 47
Drucktaster 149
Ein-/Ausschalter 46
einfacher *siehe* Experiment 6: Ganz einfaches Schalten
einpoliger Ein-/Ausschalter (SPST) 46
einpoliger Umschalter (SPDT) 46
Endschalter 273
frühe Modelle 49
Funkenschlag 48
löten 139
Magnetkontaktschalter 125
Relais und 103
Schaltzeichen 51
testen 48
Umschalter 46
zweipolige Schalter 46
Schaltstrom, maximaler 58
Schaltungen, Schaltzeichen 50
4026-Chip 169
Dioden 131
Glühbirne 53
LEDs 53–54
Potentiometer 53
Punkte 51
PUTs 83
Schalter 51
Spulen 233
Symbole 51
Verbindungen 52
Widerstände 52
Zahlenschloss 196, 201
Schrauben 102
Sicherheitsschrauben 202
Schraubstock, kleiner 99
Schrittmotoren *siehe auch* Experiment 33: Fortbewegung schrittweise
Aufbau 282
Schrumpfschlauch 101
schwebenden Pins 173
Sears
Entgratwerkzeug 99
Seitenschneider 1
Warnung 117
selbsthaltendes Relais 128
Selbstinduktivität 241
Senkbohrer mit Handkurbel 99
Servo
PICAXE 304
Servos 275
Set mit Ahlen und Spitzbohrern 99
Shannon, Claude 182
Shockley, William 78, 150
Sicherheitsschrauben 202
Sicherungen 4
Siemens, Ernst 238
Signaldioden 131
Sinuswelle 250
Spannung 10
Berechnung des Spannungsabfalls 277
Böse Spannungen blockieren 129
Hochspannung 259
Wie viel Spannung verbraucht ein Draht? 27
Spannungsregler 149, 180
LM7805 *siehe* Experiment 11: Ein modulares Projekt

Sperrholz 102
Spulen, Schaltzeichen 233
Spulenspannung 58
Statische Aufladungen verhindern 170
Steckbrett 39, 65–67
siehe auch Experimente 8, 20 und 21
Steckdose 12
Stecker 49
STMicroelectronics
ICs 148
Logikchips 148
Transistor 42
Strom
Gleich- und Wechselstrom 12
Stromfluss messen 21
Transistoren und 80
Wechselstrom 243
Stromstärke 10
Stromstecker 227
Stromversorgung 246
Chips 152

T

Tantalkondensator 63
Taster 42
Arten von Schaltern und Tastern 47
Tauchspulenmikrofon 239
Texas Instruments
4026-Dekadenzähler 148
Logikchips 148
Theorie
Ausgerechnet: Deine Zunge 30
Berechnung des Spannungsabfalls 277
Binärrechnen 215
Das Wesen der Elektrizität 33
Die Stromstärke 80
Die Zeitkonstante 71
Ein Blick in den 555: Astabiler Modus 162
Ein Blick in den 555: Monostabiler Modus 156
Ein Blick in den Schrittmotor 282–283
Einschätzen der Leistung 31
Grundlegende Messungen 36
Induktion 232
Löttheorie 109
Schall, Strom und Schall 239
So funktioniert Funk 261
Wechselstrom 243
Wellenformen 250
Tieftöner 248
Transistoren 42
2N2222 *siehe* Experimente 11 und 15
2N6027 Programmierbarer Unijunctiontransistor *siehe* Experiment 14: Ein pulsierendes Glühen
Anfänge 78
Beta-Wert 80
Grundlagen 76
NPN- und PNP 76
Relais und 79
Schalten *siehe* Experiment 10: Transistor-Schalter
Schaltung, die öffnet, um zu schließen 126
Unijunction 82
Transistoren als Schalter *siehe* Experiment 10: Transistor-Schalter
Transistor-Transistor-Logik (TTL) 188
Tremolo-Effektgerät 256
Trem-Trol 256
Trigger-Spannung 154
Tyco
Relais 42

U

Unentbehrlich: Helfende Hand 96
Unijunctiontransistoren 82
Universalnetzteil 39
unpolarisierte Relais 58

V

Ventures 255
Verbindungskabel 41
Verstärker 49
Verstärkung 87
Verzerrung *siehe* Experiment 30: Fuzz
VIH min 190
VIL max 190
VOH min 190
VOL max 190
Volt 36
Grundlagen 11
Volta, Alessandro 12
Vox Wow-Fuzz-Pedal 252

W

Warnungen
Benutze niemals beide Hände 74
Blutblasen und tote Datenträger 235
Die Sache mit der Garantie 195
Elektroschock durch Kondensator 62
Fliegende Drahtstückchen 117
Heiße Widerstände 242
Heißluftpistolen werden auch heiß! 110
Hochspannung! 259
Keine schwebenden Pins! 173
Kurzschlüsse 9
Lötkolben werden heiß! 104
Mit Vorsicht schneiden 265
Nie mehr als 9 Volt 5
Polarität von Kondensatoren 63
Pull-Down an Pin 2 293
Statische Aufladungen verhindern 170
Vermeide Verbrennungen beim Biegen 267
Vorsicht, rotierende Pins! 159
wassergetriebene Turbine 231
Watt 36

Watt-Grundwissen 31
Watts, James 28
Wechselschalter 46
Wechselstrom (AC) 12, 243
Wellenformen 250
  Clipping 252
Wellenlänge des Schalls 239
Weller Therma-Boost 96
Widerstand 25–26, 241–242
    siehe Experiment 1:
    Ein kleiner Vorgeschmack
  Entdeckung des 8
  höherer 10
  messen 6–7
Widerstände 4, 43
  dekodieren 14
  Einschätzen der Leistung 31
  erhitzt 242
  Schaltzeichen 52
    siehe Experiment 3:
    Dein erster Stromkreis
Wire-Wrap 106

X

X-Acto
  kleine Handsäge 99

Z

Zahlenschloss, Schaltplan 196, 201
Zange 1
Zeitkonstante 71
Zenerdiode 131
Ziffernblock *siehe* Experiment 20:
    Eine starke Kombination
Ziffernblock mit 12 Tasten 149
Zinkelektrode 33
Zitronenbatterie 32
zweipolige Umschaltrelais 103

Kolophon

Die auf dem Cover verwendete Schrift ist die BentonSans, die Textschrift ist Myriad Pro und die Schrift für den Code ist TheSansMonoCondensed. Originalfotos und -illustrationen vom Autor. Fotoanpassungen für die deutsche Ausgabe stammen von Heinz Hesse.

Über den Autor

Charles Platt fand Interesse an Computern, als er 1979 einen Ohio Scientific C4P erstehen konnte. Nach dem Schreiben und dem Verkauf von Software per Postversand schulte er Klassen in BASIC, MS-DOS und später dann in Adobe Illustrator und Photoshop. In den 1980ern schrieb er fünf Computerbücher. Ebenso hat er Science-Fiction wie *The Silicon Man* (zunächst bei Bantam, dann später bei Wired Books erschienen) oder *Protektor* (bei Avon Books) geschrieben. Er hörte mit dem Schreiben von Science-Fiction-Büchern auf, als er 1993 zum *Wired* ging, wo er später einer der drei verantwortlichen Redakteure wurde. Charles schreibt seit der Nr. 3 von MAKE und gehört zum festen Autorenstamm. *Make:Elektronik* ist sein erstes Buch bei MAKE. Momentan entwirft und baut er Prototypen für medizinische Ausrüstungen im Norden der Wildnis Arizonas.